Industry Canada
Research Publications Program

INVESTMENT AND PRODUCTIVITY GROWTH – A SURVEY FROM THE NEOCLASSICAL AND NEW GROWTH PERSPECTIVES

Occasional Paper Number 24
June 2000

Industry Canada Research Publications Program

The Industry Canada Research Publications Program provides a forum for the analysis of key micro-economic challenges in the Canadian economy and contributes to an informed public debate on these issues. Under the direction of the Micro-Economic Policy Analysis Branch, the Program's research paper series features peer-reviewed analytical working papers and policy-related discussion papers written by specialists on micro-economic issues of broad importance.

The views expressed in these papers do not necessarily reflect the views of Industry Canada or of the federal government.

101-01667/

Industry Canada
Research Publications Program

INVESTMENT AND PRODUCTIVITY GROWTH – A SURVEY FROM THE NEOCLASSICAL AND NEW GROWTH PERSPECTIVES

By Kevin J. Stiroh
Federal Reserve Bank of New York

Occasional Paper Number 24
June 2000

Aussi disponible en français

Canadian Cataloguing in Publication Data

Stiroh, Kevin J.

Investment and productivity growth: a survey from the neoclassical and new growth perspectives

(Occasional paper; no. 24)
Text in English and French on inverted pages.
Title on added t.p.: Investissement et croissance de la productivité.
Includes bibliographical references.
Issued also as an electronic monograph in PDF format on the Industry Canada Web site.
ISBN 0-662-64815-3
Cat. no. C21-23/24-2000

1. Investments.
2. Capital productivity.
3. Labor productivity.
I. Canada. Industry Canada.
II. Title.
III. Title: Investissement et croissance de la productivité.
IV. Series: Occasional paper (Canada. Industry Canada).

HC79.S75 2000 332.6 C00-980126-XE

The list of titles available in the Research Publications Program and details on how to obtain copies can be found at the end of this document. Abstracts of research volumes and papers published in Industry Canada's various series, and the full text of our quarterly newsletter, *MICRO*, are available on *STRATEGIS*, the Department's online business information site, at http://strategis.ic.gc.ca.

Comments should be addressed to:

Someshwar Rao
Director
Strategic Investment Analysis
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario
K1A 0H5

Tel.: (613) 941-8187; Fax: (613) 991-1261; e-mail: rao.someshwar@ic.gc.ca

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper was written for Industry Canada while the author was a member of the Program on Technology and Economic Policy, at Harvard University, Cambridge (MA). The author thanks Mun Ho, Dale Jorgenson, Frank Lee, Lauren Stiroh, and an anonymous referee for helpful comments on an earlier draft, Mike Fort for excellent research assistance, and Industry Canada for financial support. This paper represents solely the views of the author and does not necessarily reflect the views of the Federal Reserve Bank of New York or the Federal Reserve System.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT i

1. INTRODUCTION 1

2. INVESTMENT, PRODUCTIVITY, AND GROWTH 3
   - The Neoclassical Model 4
   - Expanding the Investment Concept 6
     - Heterogeneous Tangible Assets 6
     - Human Capital 8
     - Research and Development 9
     - Public Infrastructure 11
     - An Important Caveat 12
   - The New Growth Theory 13

3. CURRENT ISSUES AND RESULTS 17
   - International Comparisons 17
   - Equipment Investment Spillovers 22
   - R&D Investment Spillovers 24
   - The Computer Productivity Paradox 28
   - Labour Issues 33
   - The Renewed "Embodiment Controversy" 35
   - Plant-Level Evidence on Investment and Productivity 37
   - Determinants of Investment 38

4. CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH 39

NOTES 43

BIBLIOGRAPHY 47

INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS 63

ABSTRACT

This paper reviews the wide literature on investment and productivity with the debate between the neoclassical and the new growth theories providing a context for discussion. Both schools of thought regard investment, broadly defined to include purchases of tangible assets, human capital expenditures, research and development efforts, etc., as the fundamental source of improved productivity and economic growth, but the two views diverge on the exact transmission mechanism. Most importantly, the neoclassical framework focuses on internal returns to investors who appropriate the benefits of new investment, while new growth models emphasize external effects as productivity gains spill over to others. This crucial dichotomy leads to differences regarding the role of investment as a source of growth, policy prescriptions, and implications for long-run gains in productivity and living standards. The paper then reviews several empirical and conceptual issues relating to investment and productivity and outlines areas for future research.

1. INTRODUCTION

Economists have long recognized that investment is a crucial source of productivity and economic growth. By providing workers with more capital and thus improving labour productivity, tangible investment expands output and raises living standards. The fundamental importance of investment has led to an enormous amount of research, both theoretical and empirical, that examines the relationship between investment, productivity, and economic growth.

The purpose of this paper is to provide a broad survey of the recent literature that links investment to productivity, a link that depends critically on an understanding of the economic growth process. The pioneering work of Ramsey, Harrod, Domar, Solow, and others first laid a framework that focused on private investment in tangible assets and the resulting accumulation of physical capital in a neoclassical framework. Recent contributors have used this neoclassical model as a starting point, but extending the analysis in ways that have irrevocably altered our perspective on the importance of investment as a source of productivity.

One important innovation was the expansion of the investment and capital concepts by Aschauer, Becker, Griliches, Jorgenson, Mincer, Schultz, and others beyond private investment in tangible assets to include investment-driven substitution between heterogeneous assets, human capital accumulation, research and development expenditures, and investment in public infrastructure. While emphasizing a broader view of investment, this literature has typically remained in the neoclassical tradition where the benefits of investment are internal in the form of enhanced productivity or higher wages. A second major innovation was the move away from the neoclassical model to examine alternative productivity channels in the "new growth" theory of Arrow, Grossman, Helpman, Lucas, Romer, and others. This view attaches greater significance to certain types of investment that create externalities and generate an additional productivity boost through production spillovers or the associated diffusion of technology.

The first part of this paper sketches the role of investment in determining productivity in these two frameworks. While there is staunch support for both, the evidence suggests that a traditional neoclassical focus on input accumulation and internal returns remains the best explanation for improvements in labour productivity. For example, the strong performance of the newly industrialized Asian economies is primarily due to their rapid accumulation of physical and human capital, with a relatively small role for

technological progress. Likewise, massive substitution towards high-tech capital goods is raising the relative productivity of firms and industries that are able to invest and restructure their activities, with little evidence that productivity gains spill over to others.

Investment and input accumulation are not the whole story, however, with roughly one-fifth of U.S. post-war growth remaining unexplained in a complete quality-adjusted, neoclassical model. This leaves an obvious need for an explanation of technological progress and alternative sources of productivity. New growth theory can fill this gap. Thus, these two frameworks can be viewed as complements rather than substitutes, with neoclassical input accumulation explaining the majority of growth and the new growth theory providing a conceptual foundation for the remainder of productivity growth that falls outside of the neoclassical framework.

The second part of the paper reviews a wide range of current issues relating to investment and productivity. Topics examined include international evidence on investment spillovers from equipment investment, potential research and development spillovers, the "computer productivity paradox," the impact of investment on labour market outcomes, the renewed embodiment controversy, and recent microeconomic evidence from large longitudinal databases. By outlining some of the important policy implications of the current research and summarizing relevant questions that remain unanswered, this section highlights specific areas for future research on the relationship between investment and productivity.

The paper is organized as follows. Section 2 briefly outlines the traditional role that investment plays in the neoclassical model of growth, including broader concepts of investment and capital, and contrasts this model with the new models of endogenous growth. Section 3 looks at current issues relating to investment and productivity. Section 4 concludes the paper and discusses topics that are most suitable for future research.

2. INVESTMENT, PRODUCTIVITY, AND GROWTH

Economic growth theory has recently enjoyed a revival, with insights from both the classic and recent contributions providing an appropriate point of departure for a discussion of investment and productivity. The growth literature has recently bifurcated, however, with arguments put forward for both a neoclassical model of growth and an alternative, new growth view.[1] Although investment plays a central role in both, conceptual differences lead to contrasting views of the investment-productivity nexus.

Economists often think of investment as the purchase of tangible assets that contribute to current and future production as capital is accumulated. Indeed, this concept was featured in the early analysis of Cobb and Douglas (1928), Tinbergen (1942), Solow (1956, 1957), and others that first used an "aggregate production function" to describe the relationship between an economy's output and primary inputs, e.g. tangible capital and labour. This perspective has changed, however, with Mankiw (1995) concluding: "...there is an increasing consensus that the role of capital in economic growth should be more broadly interpreted" (p. 308). If capital is interpreted more broadly, then investment must also be defined more broadly to include the purchase of any asset or service that generates future production returns. Jorgenson (1996) summarizes this view with a concise definition:

> "Investment is the commitment of current resources in the expectation of future returns and can take a multiplicity of forms...the distinctive feature of investment as a source of economic growth is that the returns can be internalized by the investor" (p. 57).

This broader definition includes investment in tangible assets, as well as education, training, other human capital accumulation, or research and development, since these actions are specifically undertaken by the firm or worker to increase their own future benefits, which ultimately contribute to output, productivity, and growth. As a preview of the subsequent discussion, the idea that investment, broadly defined, primarily generates internal returns is a hallmark of the neoclassical model of investment, productivity, and growth that differentiates it from the new growth theory.

The Neoclassical Model

The standard neoclassical growth model is well known and will be reviewed here only briefly. The seminal papers of Solow (1956, 1957) formalized the neoclassical model, integrated the aggregate production function with national income data, and form the basis for much of applied growth analysis. The role of investment in this framework can be summarized by two familiar equations. The relationship between output, Y, and capital input, K, labour input, L, and "Hicks-neutral" technology,[2] A, can be described with an aggregate production function:

$$(1) \qquad Y = A^{*}f(K,L),$$

and the capital accumulation equation, which governs the relationship between investment in tangible assets, I, and capital stock, is the well-known perpetual inventory relationship:

$$(2) \qquad \Delta K_t = I_t - K_{t-1}{}^{*}\delta,$$

where Δ represents a discrete change, δ is depreciation, and I_t can either be determined endogenously by profit-maximizing firms or assumed to be some fixed proportion of output, say sY_t. The question of whether the production function should include a measure of capital stock, as described by Equation (2), or the flow of capital services is discussed below.

Under the neoclassical assumptions of competitive factor markets and constant returns to scale where all inputs are paid their marginal products, the standard growth accounting decomposition relates output growth to the share-weighted growth rates of primary inputs and total factor productivity, i.e. the famous "Solow residual," $\Delta \ln A$,

$$(3) \qquad \Delta \ln Y = v_K \Delta \ln K + v_L \Delta \ln L + \Delta \ln A,$$

where v_K is capital's share of national income, v_L is labour's share of national income, and the neoclassical assumptions imply $v_K + v_L = 1$.

Equations (2) and (3) show the direct link between investment in tangible assets and economic growth as the accumulation of capital contributes to growth in proportion to capital's share of national income. One can then derive the neoclassical relationship between investment and

labour productivity growth, defined as output per hour worked, by transforming Equation (3) as:

$$(4) \qquad \Delta \ln y = v_K \Delta \ln k + v_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H) + \Delta \ln A,$$

where lower-case letters are per hour worked. Growth in average labour productivity (ALP), given by $\Delta \ln y$, depends directly on the rate of per hour capital accumulation (capital deepening), $\Delta \ln k$, growth in labour quality, measured as the difference between the growth of labour input and the growth of hours worked, $(\Delta \ln L - \Delta \ln H)$, and the growth in total factor productivity (TFP), $\Delta \ln A$.[3]

The appealing simplicity and intuition of this neoclassical framework has made it the backbone of applied and theoretical work on productivity and economic growth.[4] Despite its popularity, however, the neoclassical model leads to several troubling results. First, TFP growth is entirely exogenous to the model, i.e. technology is typically described by some *ad hoc* function such as $A_t = A_0 e^{gt}$, where g is an unexplained parameter of the economy. Since capital accumulation is subject to diminishing returns, without exogenous technical progress there could be no steady growth in per capita income. Moreover, despite being totally unexplained, early empirical research found TFP growth to be the dominant source of per capita income and labour productivity growth. Indeed, Solow (1957) originally attributed nearly 90 percent of U.S. per capita output growth to exogenous technical progress, leaving many economists unsatisfied. Finally, the international data did not seem to fit with the basic neoclassical model in terms of capital shares and convergence properties.[5]

These shortcomings set the stage for several lines of subsequent research on the relationship between investment and productivity growth. One school of thought, originated by Jorgenson and Griliches (1967) and summarized in Jorgenson (1990, 1996), remained firmly embedded in the neoclassical tradition and sought to develop better measures of investment, capital, labour, and other omitted inputs in order to reduce the importance of the unexplained residual. That is, if all inputs are correctly measured, then exogenous technical progress will be a less important source of growth. A second school moved beyond the neoclassical model and sought to provide an endogenous mechanism for the evolution of technical progress, which was left unexplained in earlier work. By explicitly modelling the dynamics of competition, innovation, and production

spillovers, this research culminated in models of endogenous growth in the new growth theory.

Expanding the Investment Concept

The neoclassical model described above can easily be extended beyond investment in tangible assets to account for any accumulated input that contributes to production. This includes investment-driven substitution between heterogeneous tangible assets, investment in human capital through education and worker training, research and development efforts, and public infrastructure expenditure.

Heterogeneous Tangible Assets

In the context of Equation (1), K should measure the service flow of capital inputs, which includes the services from many heterogeneous assets, ranging from long-lived structures to short-lived equipment. By recognizing that tangible assets have different acquisition prices, service lives, depreciation rates, tax treatments, and ultimately marginal products, Jorgenson and Griliches (1967) formally incorporated the heterogeneity of inputs by creating constant quality indices of capital and labour inputs. In contrast, Solow (1957) originally used a simpler measure of aggregate capital stock as in Equation (2).[6]

A constant quality index of capital input is estimated using an asset-specific "user cost of capital" to aggregate heterogeneous capital stocks, rather than acquisition prices. By weighting assets by their user cost, which equals the marginal product in equilibrium, the index of capital input incorporates important differences in the productive contribution of heterogeneous investments as the composition of investment and capital changes. It should be emphasized that "quality" change in this framework represents changes in the composition of assets and not higher productivity from any particular asset. Quality change of that type, e.g. the improved performance of more recent computers, is handled by the investment deflator and is discussed below in the section on the computer productivity paradox.

As derived in Hall and Jorgenson (1967) and elaborated in Jorgenson and Yun (1991), the user cost of capital, $P_{k,t}$, measures the annualized cost of using a piece of capital for one period, from t-1 to t, which equals the opportunity cost of purchasing the asset plus depreciation

of the asset less any capital gains, all adjusted for tax considerations. The user cost can be estimated with a capital service price equation:

$$(5) \qquad P_{k,t} = \frac{1 - ITC - Z^{*}\tau}{1-\tau} * (i * P_{a,t-1} + \delta * P_{a,t} - \pi_t * P_{a,t-1}),$$

where *ITC* is the investment tax credit, *Z* is the present discounted value of capital consumption allowances, τ is the statutory tax rate, *i* is the nominal rate of return, $P_{a,t}$ is the acquisition price of capital or investment, δ is the rate of geometric depreciation, and π_t is the revaluation rate of asset prices, all for each individual asset.

Jorgenson and Stiroh (2000), for example, include 57 types of private investment assets and emphasize the massive substitution towards computer equipment in response to the falling acquisition price and high marginal product of these assets. Brown and Hellerstein (1997) evaluate patterns of U.S. tangible investment from 1960 to 1996 and conclude that relative price changes, particularly for information technology investments, have lead real business investment as a share of GDP to reach a 40-year high.

Table 1
The Sources of U.S. Economic Growth and the Role of Computers
1959–98

	1959–73	1973–90	1990–98
Output growth	4.32	3.13	3.44
Contribution of capital inputs (*K*)	1.41	1.15	1.07
Non-computers and software (K_n)	1.31	0.92	0.68
Computers and software (K_c)	0.10	0.24	0.39
Contribution of consumers' durables services (*D*)	0.62	0.47	0.35
Non-computers and software(D_n)	0.62	0.45	0.25
Computers and software (D_c)	0.00	0.02	0.10
Contribution of labour input (*L*)	1.25	1.17	1.32
Aggregate total factor productivity	1.05	0.34	0.70

Contribution of inputs are real growth rates weighted by average, nominal shares.
All values are average, annual percentages.
Source: Jorgenson and Stiroh (2000).

Jorgenson and Stiroh (1995, 1999, 2000) apply this capital service methodology to the U.S. economy and conclude that investment in tangible assets was the dominant source of growth in the post-war period. These results, reported in Table 1 and taken from Jorgenson and Stiroh (2000), show that output grew 3.6 percent per year from 1959 to 1998, with capital inputs, including consumers' durables, accounting for 48 percent of the total growth, while labour inputs accounted for 34 percent and the TFP residual held the remaining 18 percent. Gordon (1999) presents a longer historical perspective, dating back to 1870; he compares alternative measures of inputs for the U.S. economy, and concludes that quality adjustment of labour and capital input accounts were important sources of long-run growth. Thus, to correctly estimate the contribution of capital to growth, one must utilize a capital services concept and incorporate substitution between heterogeneous assets.

Human Capital

Economists have recognized the importance of investments in human beings at least since the early work of Mincer (1958, 1974), Shultz (1961), and Becker (1962).[7] Expenditures on education, job-training, labour migration, and health care are all expenditures that increase the quality of human labour, enhance productivity, and are rightly called investments. As early as 1961, the similarities between investments in tangible capital and in human capital, e.g. tax incentives, depreciation, pricing imperfections, and the primarily internal benefits of human capital investments, were discussed by Schultz (1961, pp. 13–5). In more recent treatments, Heckman, Lochner, and Taber (1998) and Lord and Rangazas (1998) examine the impact of tax policy on skill and human capital investment.

Jorgenson and Griliches (1967) formally incorporated heterogeneous labour inputs into an aggregate growth analysis by weighting labour hours with relative wages to account for differences in human capital and productivity. Similar to the measurement of capital, this approach incorporates substitution between different types of labour and results in a constant quality index of labour input that is suitable for the production function analysis of Equation (1). Accumulation of human capital is an important source of growth and is now routinely included in growth analyses. The U.S. Bureau of Labor Statistics (1999b), for example, reports that one-third of U.S. non-farm labour productivity growth from

1990 to 1997 was due to changes in the composition of labour, i.e. improved labour quality.

In an important paper supporting the broad neoclassical model, Mankiw, Romer, and Weil (1992) formally include investment in human capital in an augmented Solow growth model. Employing a Cobb-Douglas specification for aggregate output, they explicitly model human capital as a determinant of output:

$$(6) \qquad Y = K^{\alpha}H^{\beta}(AL)^{1-\alpha-\beta},$$

where H is the stock of human capital and A is labour-augmenting technical change.

Mankiw, Romer, and Weil (1992) use a measure of education attainment as a proxy for human capital accumulation and conclude that the model fits the data well in terms of the growth convergence predictions and the estimated output elasticities. They conclude that the augmented Solow model is consistent with the international evidence.[8] More recently, Hall and Jones (1999) use a similar model to compare levels of output across a wide range of countries and find that human capital differences explain some, but by no means all, of the wide variation in per capita output levels. Ho and Jorgenson (1999) simulate the impact of higher investment in education on U.S. economic performance.

From a microeconomic perspective, Black and Lynch (1996) find that human capital is an important determinant of cross-sectional differences in establishment productivity, e.g. a 10 percent increase in average education leads to an 8.5 percent increase in manufacturing productivity and a 12.7 percent increase in non-manufacturing productivity. Again, this research supports the neoclassical view as investment in human capital leads to benefits for the economic agent that makes the investment.

Research and Development

A second type of investment that can be incorporated into the neoclassical model is investment in research and development (R&D), defined broadly as expenditures on new knowledge that improves the production process. The growth impact of R&D has received considerable attention, particularly within the context of spillovers, but the primary impact of R&D investment is internal (Griliches 1973, 1979). Aghion and Howitt (1998), important contributors to the new growth theory, recognize this by noting that

"technological knowledge is itself a kind of capital good...and it can be accumulated through R&D (p. 26)." Since firms presumably undertake R&D investment to improve their own production process and raise profits, many endogenous growth models explicitly treat spillover effects as secondary, unintended consequences. It is precisely this distinction between internal and external benefits that delineates the role of R&D in the neoclassical and the new growth theories.

While it is conceptually straightforward to treat R&D as a neoclassical factor of production, serious practical difficulties prevent the R&D contribution from being easily estimated. Griliches (1995), Hall (1996), and Jorgenson (1996) all emphasize the difficulty of measuring the contribution of R&D to growth because of thorny measurement problems and a lack of adequate data. Hall (1996) points out that R&D is often associated with product improvements, and the measured impact of R&D therefore depends critically on how price deflators are constructed and how output is deflated. As a concrete example, Griliches (1994) shows that including the U.S. computer industry, which has a quality-adjusted price deflator, in a cross-sectional analysis has an enormous impact on the estimated gross rate of return to R&D. In addition, one must estimate an appropriate depreciation rate to calculate the productive stock of R&D capital.

Despite these problems, many studies have tried to measure the impact of R&D.[9] Griliches (1995) presents a "skeletal model" of R&D that is a straightforward extension of Equation (1):

$$(7) \qquad \ln Y = \alpha(t) + \beta \ln X + \gamma \ln R + u,$$

where X is a vector of standard inputs, e.g. capital and labour, and R is a measure of the cumulative research effort.[10] Alternatively, Equation (7) can be rewritten in terms of growth rates.

A consensus has emerged around the fact that R&D capital contributes significantly to cross-sectional variation in productivity: Hall (1996) reports an elasticity of 0.10 to 0.15 using data through 1977, and Griliches (1995) reports an estimated elasticity of output with respect to R&D capital of between 0.06 and 0.10. It is important to note, however, that Equation (7) depicts the relationship between a firm's or industry's productivity and its *own* R&D stock. The impact of R&D spillovers is addressed below.

Public Infrastructure

The neoclassical view described above focuses on private investment by optimizing firms and individuals as the primary source of growth. In a series of influential and controversial papers, however, Aschauer (1989a, 1989b, 1990) argued that core infrastructure was an important source of productivity growth and that the productivity slowdown observed after 1973 can be largely attributed to a slowdown in public investment. These claims led to a wide-ranging debate that addressed the policy implications and pointed out important econometric issues including potential biases from common trends, omitted variables, and potential reverse causality.[11] In the canonical specification, Aschauer (1989a) includes a flow of productive services from government capital, *G*, into the neoclassical model as:

$$(8) \qquad Y = A^*f(K,L,G),$$

and concludes that "a core infrastructure of streets, highways, airports, mass transit, sewer, water systems, etc. has most explanatory power for productivity" (p. 177).

Even if one ignores the econometric and methodological criticism, this does not necessarily mean that economy-wide productivity and growth can be easily improved through public investment. For example, Aschauer (1989b) raises the issue of crowding out of private investment by public investment; Nazmi and Ramirez (1997) empirically find strong crowding out effects for Mexico. Moreover, empirical estimates of the productivity impact of infrastructure investment are inconclusive.

Morrison and Schwartz (1996) find a significant productivity impact of infrastructure across U.S. states, but they also report evidence suggesting that the net return, after accounting for the social cost of infrastructure investment, may be close to zero. Vijverberg, Vijverberg, and Gamble (1997) compare three alternative econometric approaches — a production function, a cost function, and a profit function — that are all based on an augmented production function similar to Equation (8), and report tremendous variation in results across models and specifications. They draw no firm conclusions about the impact of public investment on private productivity. Nadiri and Mamuneas (1994) find that highway investment contributes to productivity and output growth at both the sectoral and the aggregate level in the United States, although the output elasticity of private capital is four times as large as that of highway capital

in all industries. Finally, Cassou and Lansing (1998) present a general equilibrium model with an optimizing government and conclude that even if public investment is not optimal, as in the United States, there is little impact on the long-run growth of labour productivity.

The obvious difference between private and public investment is the financing mechanism. As emphasized above, private investment provides returns to private agents that can be internalized and thus there is no role for government intervention. The argument for government-financed infrastructure, however, is a traditional public good argument that prevents all of the returns from being recouped by a private investor, which can lead to underprovision of the good. Gramlich (1990) addresses various types of infrastructure investments and explores the rationale for their public provision.

In an international comparison, Hulten (1996) utilizes a similar framework to examine the productivity impact of both the quantity and the quality of public investment for 42 countries from 1970 to 1990. Cross-sectional regressions that control for private tangible and human capital suggest that "infrastructure effectiveness" has an impact on growth more than seven times greater than the impact of public investment. Sanchez-Robles (1998) also focuses on alternative measures of public infrastructure, i.e. an index of "physical units of infrastructure," and finds a significant correlation with output growth. This suggests that there is no simple way for a government to improve productivity through infrastructure investment. Considerable care must be taken to determine the most effective type of investment and its social costs cannot be ignored.

An Important Caveat

The common theme in all of the preceding studies is that investment (broadly defined as the sacrifice of present consumption for future consumption) is the important determinant of both long-run productivity growth and cross-sectional variation in productivity. An important caveat, however, is that many of these studies examine only a subset of these investment variables and there is only so much variation in productivity to explain. For example, the well-known productivity slowdown has been attributed by various authors to a shortfall of public infrastructure investment, a shortfall of R&D investment, and a shortfall of equipment investment. All cannot be responsible for the entire slowdown.[12]

To correctly identify the productivity impact of any single input, one must include all the relevant factors of production. As an example, Morrison and Siegel (1997) include R&D investment, high-tech capital investment, and human capital investment in a single analysis, and find all to be significant determinants of productivity growth in U.S. manufacturing, with R&D having the strongest impact. Future empirical research work must include many broad types of investment and capital in any productivity analysis. Only by accounting for the quantity and quality of all inputs can one correctly estimate the marginal importance of each type of investment.

The New Growth Theory

An important motivation for the endogenous growth literature was the desire to avoid the neoclassical implication that diminishing returns to capital make exogenous technical progress the only source of long-run growth in per capita income. Endogenous growth models tried to explain how private economic agents make decisions that drive long-run growth through spillovers, increasing returns, and other non-traditional effects. Aghion and Howitt (1998) provide a detailed summary of the endogenous growth theory.

The early work on endogenous growth began with Arrow (1962), Shell (1966), and others, and was revisited in important research by Romer (1986, 1990), Lucas (1988), and Grossman and Helpman (1991). Arrow, Romer, and Lucas all present models where firms face constant returns to scale to private inputs, but the level of technology, A in Equation (1), depends on the aggregate stock of some privately provided input. Arrow (1962) emphasizes "learning-by-doing" where investment in tangible assets generates spillovers as aggregate capital increases. That is, Arrow (1962) uses past gross investment to index experience and his learning-by-doing model can be written in simplified form as:[13]

$$(9) \qquad Y_i = A(K)^* f(K_i, L_i),$$

where the i subscript represents firm-specific variables and K is the aggregate capital stock. Romer (1986) essentially made $A(.)$ a function of the stock of R&D, Lucas (1988) models $A(.)$ as dependent on the stock of human capital, and Coe and Helpman (1995) argue that $A(.)$ also depends on the R&D stock of international trading partners. Barro (1990) presents an alternative specification of endogenous growth in a model with constant returns to scale for capital and government services, but diminishing returns to capital alone.

This type of investment spillover, whether from tangible capital, human capital, or R&D expenditures, is the fundamental distinction between the neoclassical model and the new growth theory. Simply including additional inputs, e.g. public infrastructure or human capital, is not enough to generate endogenous growth if these other assets are accumulated like traditional tangible assets, if all returns are internalized, and if individual firms face diminishing or constant returns. Lucas (1988), for example, explicitly states "I want to consider an external effect. Specifically, let the average level of skill or human capital...also contribute to the productivity of all factors" (p. 18), while Romer (1986) emphasizes "investment in knowledge suggests a natural externality. The creation of new knowledge by one firm is assumed to have a positive external effect on the production possibilities of other firms because knowledge cannot be perfectly patented or kept secret" (p. 1003). Coe and Helpman (1995) state "when a country has free access to all inputs available in the world economy, its productivity depends on the world's R&D experience" (p. 862). This has a natural interpretation as a production spillover since gains do not depend on own resource expenditures.

Basu (1996), commenting on Jorgenson (1996) and describing the neoclassical framework, concludes:

> In his (Jorgenson's) framework, "technology" is just knowledge (a shorthand for R&D) and other forms of human capital. On the other hand, the New Growth theory, which also treats knowledge as a form of capital, believes that knowledge is special, in the sense that investors cannot fully internalize the benefits from accumulating knowledge. The New Growth theory thus has large spillovers to knowledge accumulation (p. 79).

The existence of spillovers is a significant empirical question that has generated a vast literature for obvious reasons. If investment of any type — tangible assets, human capital, or R&D — generates benefits to the economy that cannot be internalized by private agents, then it means that there are different growth paths and policy implications. Since investment may be too low from society's point of view, spillovers open a role for government intervention. The empirical evidence on spillovers from different types of investment is reviewed below.

A class of models that deserves special mention in a discussion of investment and productivity relates to "general purpose technologies" (GPTs). Originated by Bresnahan and Trajtenberg (1995), this research

characterizes a GPT innovation "by the potential for pervasive use in a wide range of sectors and by their technological dynamism" (p. 84). The authors argue that investing in and adopting GPT innovations like the steam engine, electricity, and semi-conductors, brings productivity gains to a wide range of industries and applications. Helpman (1998) provides a review and a collection of recent papers.

GPTs fall into the class of endogeous growth models because they explicitly include two types of investment-related spillovers. First, there are "innovational complementarities," which raise the productivity of R&D in sectors that use the GPT. For example, the computer chip may allow a financial service firm to innovate in more profitable and productive ways. Second, there are horizontal externalities since many sectors reap the benefits of the GPT, but coordination problems lead to underprovision of the GPT. These externalities can lead the market to provide a sub-optimal amount of the GPT. By exploring how a certain innovation diffuses through the economy, this research provides an important theoretical framework for the empirical search of production spillovers. This interesting explanation for well-known phenomena like the computer revolution deserves continued attention and further research.

As a final point to improve clarity, it should be noted that the term "endogenous" is used by both neoclassical and new growth advocates, but its interpretation is subtly different. Jorgenson (1996) and Jorgenson and Yip (1999), for example, use the word "endogenous" to refer to all growth that can be attributed to the accumulation of measurable inputs, i.e. all growth except the unexplained Solow residual. New growth theorists, on the other hand, use "endogenous" when explaining the evolution of the residual. That is, Jorgenson, Griliches, etc. developed sophisticated measurement tools to reduce the magnitude of the residual, while Arrow, Romer, Lucas, etc. developed sophisticated growth models to explain the creation of the standard residual as a result of specific actions of economic agents.

Although both views are attempting to explain growth, they are focusing on different aspects, which has led to some confusion in the debate. More important, the two explanations need not be mutually exclusive since even a complete quality-adjusted model of the U.S. economy leaves a large role for the unexplained residual. Thus, there are important explanatory roles for both. The neoclassical and new growth views can be combined by using neoclassical explanations to focus on broadly defined capital accumulation, conditional on the level of technology, while the new growth explanations can provide insight into the evolution of technology and the source of the residual.[14]

3. CURRENT ISSUES AND RESULTS

This section reviews several areas of current research and debate relating to investment, productivity, and growth. While significant advances have been made in all of these areas, many unanswered questions remain and there is ample room for future research.

International Comparisons

Despite large practical and conceptual difficulties, many authors have examined international differences in investment and productivity. Van Ark (1996) provides a recent survey of methodologies, in which he describes many of the difficulties involved in comparing productivity across countries, e.g. conversion to common currencies, capital stock and quality differences, variation in the productivity impact of education, etc., and reviews available international data sets. This section briefly reviews several recent empirical papers that provide estimates of investment and productivity performance across countries and sectors. It does not, however, examine the large literature on cross-sectional growth regressions in any detail.

As a first step, it is useful to compare relative investment trends. Kirova and Lipsey (1997, 1998) provide estimates of various measures of capital formation for 13 countries (Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, the Netherlands, Norway, Sweden, the United Kingdom, and the United States) and conclude that nominal values of traditional investment in tangible assets give a misleading perspective on capital accumulation. Consistent with the broader interpretation of capital described above, they calculate a broadly defined version of investment by including consumer durables, education, research and development, and military capital formation. As shown in Table 2, Kirova and Lipsey (1997) report that, after taking into account price differences, the United States led with $20,061 in broadly defined real capital formation per worker from 1990 to 1994, followed by Canada with $19,670, Belgium with $17,447, and Japan with $16,723. Billings (1996) focuses on tangible capital, concludes that the U.S. lags in terms of commercial structures, and points to differences in capital cost recovery methods as a possible explanation of the observed variation.

Table 2
International Comparison of Investment per Worker
1970–94

	1970–74	1975–79	1980–84	1985–89	1990–94
	Conventional Capital Formation				
Belgium	1,999.9	3,364.4	4,435.1	6,021.2	9,156.2
Canada	2,147.5	3,610.1	5,914.9	8,332.5	10,450.1
Denmark	2,149.8	3,114.9	3,599.2	5,379.1	5,767.4
Finland	2,333.4	3,394.6	5,225.5	7,264.3	7,704.5
France	2,394.0	3,648.4	5,452.7	7,460.3	9,809.7
Germany	2,277.0	3,415.1	5,109.1	6,400.9	8,589.6
Italy	2,087.5	3,092.2	4,808.4	6,382.9	8,285.7
Japan	2,109.8	3,419.6	5,327.4	7,947.1	11,733.3
Netherlands	2,546.6	3,801.3	4,832.8	6,110.1	7,057.7
Norway	2,515.9	4,443.6	6,131.4	7,815.5	8,446.2
Sweden	1,956.2	2,771.1	3,850.9	5,625.6	6,693.5
United Kingdom	1,332.1	1,997.1	2,918.2	4,522.5	5,659.5
United States	2,695.9	3,971.2	5,755.0	7,637.5	9,717.1
Simple Mean	2,195.8	3,388.0	4,873.9	6,684.6	8,390.0
	Broadly Defined Capital Formation				
Belgium	3,477.5	6,044.0	8,766.1	11,953.7	17,447.1
Canada	3,926.0	6,435.8	10,356.1	15,066.4	19,669.6
Denmark	3,373.2	5,215.0	6,556.2	9,368.6	11,430.7
Finland	3,275.1	5,009.0	7,886.4	11,576.8	13,895.9
France	3,549.2	5,678.9	8,835.1	12,345.9	16,414.1
Germany	3,462.7	5,632.7	8,431.1	11,197.3	15,317.7
Italy	3,029.8	4,567.0	7,627.2	10,878.4	14,905.8
Japan	2,725.4	4,570.3	7,287.6	11,199.4	16,723.5
Netherlands	4,227.7	6,900.6	8,742.0	10,900.3	12,716.5
Norway	3,723.1	6,383.3	8,992.2	12,051.6	14,080.9
Sweden	3,298.2	4,866.7	6,692.9	9,869.9	12,418.5
United Kingdom	2,317.1	3,630.9	5,722.1	8,500.2	11,281.1
United States	5,277.6	7,441.5	10,625.8	14,951.8	20,061.4
Simple Mean	3,512.5	5,567.4	8,193.9	11,527.7	15,104.8

Conventional capital formation is defined as business and non-government construction and purchases of plant, equipment, and owner-occupied housing.
Broadly defined capital formation includes investment in education, research and development, consumer durables, and military capital.
All values are converted to a common currency using purchasing power parities for capital goods.
Source: Kirova and Lipsey (1997), Tables B-1 and B-6.

Table 3
International Comparison of Average Labour Productivity
1950–94

	Average Growth Rate			Relative Productivity Level			
	1950–73	1973–87	1987–94	1950	1973	1987	1994
Australia	2.6	1.8	1.0	71.5	69.9	76.6	76.6
Austria	5.9	2.7	1.5	31.7	63.8	79.0	81.6
Belgium	4.5	3.0	2.2	46.5	68.1	88.6	96.3
Canada	2.9	1.7	1.0	75.3	78.9	85.9	85.7
Denmark	4.1	1.7	2.1	46.2	62.5	67.6	73.0
Finland	5.2	2.2	2.8	31.9	55.3	64.3	72.8
France	5.0	3.1	1.7	44.4	73.4	95.8	100.7
Germany	6.0	2.5	3.2	33.8	69.2	84.0	98.0
Greece	6.4	2.4	1.8	18.7	42.0	50.3	53.0
Ireland	4.3	3.6	5.1	29.9	42.5	59.3	78.6
Italy	5.8	2.5	2.6	32.9	64.3	77.8	86.9
Japan	7.7	3.0	2.6	15.2	44.8	57.9	64.6
Netherlands	4.8	2.6	1.5	49.3	77.4	94.7	98.0
Norway	4.2	3.4	2.6	40.4	56.3	76.4	85.4
Portugal	6.0	1.7	2.0	18.0	36.9	39.9	42.8
Spain	6.4	2.9	4.1	19.8	44.4	56.5	69.8
Sweden	4.1	1.6	1.0	53.7	73.4	78.1	78.3
Switzerland	3.3	1.2	2.6	67.7	75.9	76.5	85.4
United Kingdom	3.1	2.4	1.9	60.5	65.8	78.6	83.5
United States	2.7	1.1	1.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Simple Mean	4.8	2.4	2.2	42.9	62.9	74.3	80.8

Average labour productivity is defined as real gross domestic product per hour worked.
Productivity levels are relative to the United States in each year.
Mean of relative productivity levels excludes the United States.
Source: van Ark (1996), Table 1.

In terms of productivity comparisons, van Ark (1996) provides recent estimates of relative labour productivity, both in levels and growth rates, for the OECD countries. Results from that study are reported in Table 3 and show several familiar trends: a sustained productivity slowdown after 1973 across most industrialized countries, increasing variation in productivity growth since 1987, and a relative productivity advantage through 1987 for the

United States. However, France has overtaken the United States in terms of economy-wide labour productivity levels (real GDP per worker) in 1994.

Building on the same underlying data, Pilat (1996) examines differences in productivity levels and growth rates across manufacturing and service industries in OECD countries and emphasizes differences in physical capital, human capital, and R&D as an explanation. Also at a disaggregated level, the U.S. Bureau of Labor Statistics (1998) provides estimates of manufacturing productivity in 10 countries from 1979 to 1997. These growth rates, reproduced in Table 4, are typically larger than the economy-wide numbers of van Ark (1996) and show the growing divergence between the manufacturing and service sectors. An important topic for future research is to understand whether this reflects data deficiencies, mismeasurement, or a real productivity phenomenon.

Table 4
Labour Productivity Growth in Manufacturing
1979–97

	Average Growth Rate		
	1979–85	1985–90	1990–97
Belgium	6.1	2.3	2.7
Canada	2.3	1.2	2.0
France	3.0	3.4	3.5
Germany	2.0	2.2	3.2
Italy	4.9	2.6	3.4
Japan	3.5	4.3	3.2
Norway	2.4	1.4	0.9
Sweden	3.0	1.8	5.0
United Kingdom	4.4	4.6	2.7
United States	3.1	2.2	3.7
Simple Mean	3.5	2.6	3.0

Average labour productivity is defined as real value added in manufacturing per hour worked.
Source: U.S. Bureau of Labor Statistics (1998), Table B.

Table 5
Sources of Growth for the G-7 Countries
1960–95

	1960–73	1973–89	1989–95
		Canada	
Output per Capita	3.20	2.45	–0.37
Input per Capita	1.70	2.21	0.21
Total Factor Productivity	1.51	0.23	–0.59
		France	
Output per Capita	4.26	2.04	0.92
Input per Capita	2.15	0.74	1.37
Total Factor Productivity	2.11	1.31	–0.45
		Germany	
Output per Capita	3.74	2.15	1.66
Input per Capita	1.24	1.25	1.78
Total Factor Productivity	2.50	0.90	–0.11
		Italy	
Output per Capita	4.62	2.69	1.40
Input per Capita	0.79	2.42	1.49
Total Factor Productivity	3.82	0.27	–0.10
		Japan	
Output per Capita	8.77	2.71	1.81
Input per Capita	2.42	2.15	1.63
Total Factor Productivity	6.35	0.56	0.18
		United Kingdom	
Output per Capita	2.74	1.75	0.42
Input per Capita	0.98	1.10	1.77
Total Factor Productivity	1.76	0.65	–1.35
		United States	
Output per Capita	2.89	1.90	0.97
Input per Capita	1.53	1.45	0.68
Total Factor Productivity	1.36	0.45	0.29

All values are average, annual growth rates.
Input per capita includes the contribution to growth of capital stock, capital quality, labour hours, and labour quality.
Source: Jorgenson and Yip (1999), Table 3.

Dougherty and Jorgenson (1996, 1997) use the expanded neoclassical framework described above to explain differences in labour productivity among the G-7 countries (Canada, France, Germany, Italy, Japan, the United States, and the United Kingdom) during the period 1960–89. They conclude that investment and capital accumulation, broadly defined, are the most important sources of growth for all countries except France. Jorgenson and Yip (1999) update this work through 1995 and reach similar conclusions. These results, reported in Table 5, show that measured growth in input per capita was the dominant source of per capita output, with only the United States and Japan showing a positive contribution from TFP growth in the 1990s. In contrast, Klenow and Rodriguez-Clare (1997) use a cross-sectional regression analysis and report that TFP growth accounts for nearly half of output growth for 98 countries. While these studies examine different samples (i.e. Jorgenson and Yip include only a subset of rich countries), it would be useful to sort out the methodological differences that lead to such large empirical discrepancies.

Although data limitations typically force these studies to focus on developed countries, there has been interesting work recently on the newly industrialized Asian economies. Krugman (1994), Young (1995), and Collins and Bosworth (1996) use a neoclassical approach to evaluate the potential for long-run growth in the newly industrial countries (NICs) of Asia. All three studies conclude that broadly defined capital accumulation, as opposed to exogenous technical progress (measured as TFP growth), has been the primary source of growth, and are thus pessimistic about future growth prospects. These claims have lead to a sharp debate about the relative importance of capital accumulation and total factor productivity growth as sources of success in these economies. Hsieh (1997), Rodrick (1997), and Young (1998b) provide recent views on this controversy.

Equipment Investment Spillovers

The possibility that investment generates external productivity effects dates back at least to Arrow (1962), who formalized the idea by making productivity-enhancing experience a function of the cumulative capital stock. Wolff (1991) explores this idea and lists five channels that could link investment and technological progress: 1) investment is needed to put new inventions into practice, as in Solow (1960); 2) investment leads to organizational changes; 3) learning-by-doing, as in Arrow (1962); 4) technology offers a higher rate of return, which stimulates investment;

and 5) positive feedback effects through aggregate demand growth. Wolff (1991, Table 3) finds a statistical relationship between TFP growth and growth in the capital/labour ratio for 7 countries from 1870 to 1979, although the relationship does not appear particularly robust. Moreover, this type of finding is subject to a Jorgenson/Griliches-style critique about using capital stock and labour hours rather than constant-quality indices of capital and labour input when estimating TFP growth.

In a series of provocative papers, DeLong and Summers (1991, 1992, 1993) search for productivity spillovers from equipment investment. After examining a wide variety of sample periods, specifications, statistical tests, and country samples, DeLong and Summers (1991) conclude that the social return to equipment is large and far exceeds the private return. DeLong and Summers (1992) extend this work to more countries, a later time period, and additional statistical tests, and reach the same conclusion, even when examining subsets of relatively rich economies. While they do not model the link between investment and productivity spillovers directly, they suggest that producer experience generates production process efficiency gains, and that reverse engineering and organizational learning accompany investment in new equipment.

These results have clear implications about government intervention as a means to stimulate growth, and DeLong and Summers do not shrink from this position. In their first paper, they state that "If the results stand up to scrutiny...the gains from raising equipment investment through tax or other incentives dwarf losses from any non-neutralities" (DeLong and Summers 1991, p. 485). In their second paper, they go farther and conclude that "governments must avoid anti-equipment incentive policies" (DeLong and Summers 1992, p. 195). While the authors explicitly recognize the importance of market signals and are keenly aware of the difficulties of economic engineering, they clearly support a role for government intervention to promote equipment investment.

These findings, however, have generated considerable controversy and it is not clear that the results do in fact stand up to scrutiny. In the formal paper discussion, Abel (1992) questions whether the evidence is strong enough to dismiss the neoclassical view of no spillovers, while the "General Discussion" raised many important issues about causality, omitted variable bias, and interpretation as an externality. Auerbach, Hassett, and Oliner (1994) formalize some of these objections and point out that since equipment depreciates faster than structures, it requires a higher marginal product even in the standard neoclassical model.

In a strong defense of the neoclassical model, they find "returns to equipment and structures that are fully consistent with the Solow model" and conclude that "evidence of excess returns to equipment investment is tenuous" (Auerbach, Hassett, and Oliver 1994, p. 790).

Beyond the empirical issue of whether a strong, causal relationship does in fact exist, a second line of criticism questions the implications for government policies. In the "General Discussion," for example, Robert Gordon questioned whether alternative government incentives, e.g. education or public infrastructure, might not be preferable from society's point of view. Temple and Voth (1998) expand on this idea in a model where human capital accumulation drives industrialization, productivity growth, and equipment investment. DeLong and Summers themselves acknowledge many of these criticisms, but the critiques cannot be easily dismissed.

While this issue is still very much in debate, the evidence to date suggests that investment in equipment primarily affects growth and productivity through the traditional, neoclassical channels. That is, investment leads to capital deepening and labour productivity, but does not generate total factor productivity. More research is needed before a convincing case can be made for the existence of equipment investment spillovers and the accompanying government intervention. Until then, the simpler explanation seems more appropriate.

R&D Investment Spillovers

Knowledge creation is an important source of productivity and economic growth, and research and development (R&D) investment generates new knowledge. While creation of new knowledge requires expenditure and is thus rightly viewed as a form of investment, there is a sense that knowledge capital differs from tangible capital in fundamental ways. Knowledge appears to be non-rival, i.e. many producers can simultaneously use the same idea, and the returns are difficult to appropriate, i.e. spillovers may be present. As emphasized by Romer (1994), Basu (1996), and others, it is these external effects that are so important in the new growth theory. Hall (1996) lists a number of reasons why R&D might lead to spillovers, e.g. reverse engineering, migration of scientists and engineers, and free dissemination of public R&D. Grossman (1996), particularly on pp. 86–8, emphasizes the differences between R&D capital and tangible capital.

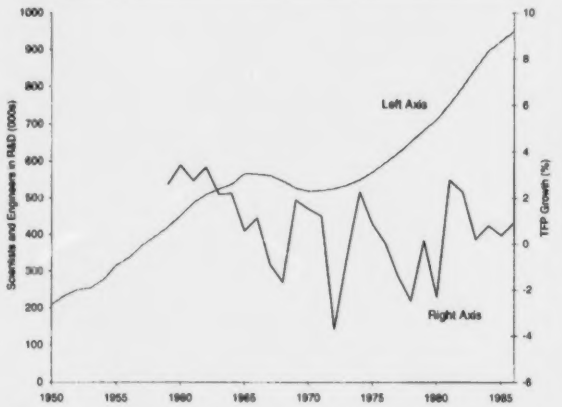
As a brief aside, Hall (1996) also discusses how competition may lead to lower prices for goods of innovative firms, but Griliches (1995) distinguishes this type of pricing problem when the transaction price does not fully reflect the marginal benefit of the innovation from pure knowledge spillovers. While measurement problems are surely important, particularly with regard to new goods and services, it is the true knowledge spillovers, defined by Griliches as "ideas borrowed by research teams of industry *i* from the research results of industry *j*" (p. 66), that may make knowledge capital fundamentally different.

The empirical literature on R&D spillovers is enormous and there are many excellent reviews.[15] Rather than repeating this effort, the present section discusses spillovers from R&D investment as a source of productivity growth in the context of the neoclassical and new growth theories.

The microeconomic evidence suggests that R&D spillovers do matter,[16] but wide variations in results and conceptual difficulties warrant some caution. For example, Griliches (1995) points out that the impact of R&D in industry analyses is not larger than in firm analyses (as the presence of spillovers implies) and warns that "in spite of a number of serious and promising attempts to do so, it has proven very difficult to estimate the indirect contribution of R&D via spillovers to other firms, industries and countries" (p. 83). Given the paucity of data and the methodological problems discussed earlier, it is difficult to draw definitive conclusions from these studies.

The empirical question of R&D spillovers can also be evaluated from the macroeconomic perspective and this research suggests that R&D is less important for productivity and growth. In a pair of influential papers, Jones (1995a, 1995b) tests R&D-based endogenous growth models using aggregate data on R&D inputs in industrialized countries and finds the models lacking. The empirical difficulty is due to a "scale effect," since these models typically predict that growth is proportional to economy-wide R&D investment. As can be seen in Chart 1, which plots the number of scientists and engineers employed in R&D activities and U.S. TFP growth estimates from Jones (1995b), the data show no obvious relationship.[17] Using more sophisticated econometrics, Jones (1995b) concludes that "R&D-based models are rejected by this evidence" (p. 519). This influential critique lead to a surge of papers, e.g. Segerstrom (1998) and Young (1998a), that remove the link between scale and growth found in many endogenous growth models. Jones (1999) provides a review.

Chart 1
R&D Scientists and Engineers, and Aggregate TFP Growth in the United States, 1950-88



Source: Jones (1995b), Figures IV and V, http://www.stanford.edu/~chadj/TimeEGM.asc.

In more recent work, Jones and Williams (1998) formalize the macroeconomic impact of external R&D effects in a model similar to that of Romer (1990). Their goal is to estimate the optimal amount of R&D investment using a general growth framework:

$$(10) \quad Y_t = F(A_t, X_t)$$

and

$$(11) \quad A_{t+1} - A_t = G(R_t, A_t),$$

where Y is output, A is the stock of knowledge, X is private inputs, and R is R&D investment.

The model incorporates various externalities, e.g. congestion effects through R&D duplication, knowledge spillovers, and the replacement of old ideas with new ones, that are outside the control of individual firms and thus generate spillovers and endogenous growth. Jones and Williams

(1998) calibrate the model and estimate that optimal investment in R&D is two to four times actual investment in the United States. This suggests an important role for R&D, but remains consistent with the empirical refutation of the R&D models in Jones (1995a, 1995b).

Policy implications should also be considered. At first blush, the potential presence of R&D productivity spillovers suggests an obvious role for government intervention based on standard market failure arguments. It is not clear, however, that this is in fact appropriate: Boskin and Lau (1996) point out that, at the margin, R&D investment might not generate spillovers; Griliches (1995) notes a strong premium on company-financed R&D over government supported R&D projects; Hall (1996) reports that the excess private returns to federal R&D are zero in the United States and other countries; and Aghion and Howitt (1992) provide a theoretical argument where over-investment in R&D occurs in markets with imperfect competition. Jones and Williams (1998), Boskin and Lau (1996), Grossman (1996), and Hall (1993, 1996) discuss this point at some length; the enormous difficulties encountered in measuring the impact of R&D investment prevent strong policy prescriptions.

A final area of interest is the role of R&D spillovers in an international context. For example, Coe and Helpman (1995), working with a more general class of models developed by Grossman and Helpman (1991), argue that cross-country R&D spillovers are an important source of productivity growth. That is, productivity levels in a given country appear correlated with past R&D investments of close trading partners. However, Keller (1998) disputes these findings empirically after repeating the Coe and Helpman exercise with random trading patterns, and finding more explanatory power than with the observed bilateral trade data.

Keller (1998) also makes a second critique, perhaps more relevant to this endogenous-exogenous comparison. In his discussion of the general models of Grossman and Helpman, Keller points out that productivity spillovers exist if "the importing country pays less than the intermediate good's full marginal product" (p. 1470). This is reminiscent of the distinction made by Griliches (1995) between true spillovers and conventional pricing problems. While very difficult to do in practice, if all attributes and quality characteristics were correctly priced, then the increased quality or variety of intermediate inputs would not be a source of productivity spillovers.

The Computer Productivity Paradox

Over the last few decades investment in high-tech equipment, particularly computers, exploded but aggregate productivity growth remained sluggish. This apparent contradiction, the so-called "computer productivity paradox," has disappointed many observers and initiated a broad research effort at both the macro and micro levels. Despite difficult measurement and identification issues, this work has generated interesting results and several alternative explanations. This section reviews the relevant literature and suggests areas for future work.[18]

The defining characteristic of the information technology (IT) revolution is the enormous improvement in the quality of computers, peripherals, and related high-tech equipment. As epitomized by Moore's Law — the doubling of the number of transistors on a computer chip every 18 months — each new generation of computers easily outperforms models considered state-of-the-art just a few years earlier. Based on the early hedonic work of Cole, Chen, Barquin-Stolleman, Dulberger, Helvacian, and Hodge (1986), the U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA) developed constant-quality price deflators for computer and peripheral equipment in 1986 to translate the massive quality improvements into increased real investment and real output. These series, now incorporating more recent estimates from the Bureau of Labor Statistics' Producer Price Index program, show an annual decline in the constant-quality price of computer investment of over 18 percent per year for nearly four decades.[19] Assuming that this sort of quality adjustment is appropriate,[20] the first question to ask is what does basic economic theory predict from such dramatic changes in relative prices?

Jorgenson and Stiroh (1999, 2000) isolate the importance of computer investment in a complete quality-adjusted model of the U.S. economy and emphasize the rapid substitution of profit-maximizing firms and utility-maximizing consumers towards relatively cheap computer and away from other inputs like labour and other types of capital. As shown in Table 6 from Jorgenson and Stiroh (1999), the quality-adjusted investment price of computers fell 17 percent and the user cost fell 15 percent from 1990 to 1996. Prices of other inputs rose over the same period. In response to these enormous relative price changes, U.S. firms have invested heavily in computers and accumulated computers much more rapidly than other inputs.

Table 6
Price and Quantity Growth Rates
1990–96

	Price	Quantity
Outputs		
Total output	2.33	2.36
Non-computers	2.60	2.01
Computers	–18.69	30.37
Investment goods (I_c)	–16.55	28.32
Consumption goods (C_c)	–24.23	37.32
Consumers' durables services (S_c)	–23.41	31.92
Inputs		
Capital services (K)	3.24	1.82
Non-computers (K_n)	3.59	1.50
Computers (K_c)	–14.94	18.71
Consumers' durables services (D)	1.95	2.87
Non-computers (D_n)	2.28	2.49
Computers (D_c)	–23.41	31.92
Labour input (L)	2.25	2.19

All values are average, annual percentages.
Source: Jorgenson and Stiroh (1999), Table 1.

Haimowitz (1998), Jorgenson and Stiroh (1995, 1999, 2000), Oliner and Sichel (1994, 2000), and Whelan (1999) incorporate these investment trends into a neoclassical growth accounting framework to estimate the contribution of computers to growth, defined as the share-weighted real growth rate as in Equation (3). Haimowitz (1998) reports a growth contribution of 0.38 from 1992 to 1996, Oliner and Sichel (2000) estimate that computer hardware and software contributed 0.93 percentage points from 1996 to 1999, and Jorgenson and Stiroh (2000), reproduced as Table 1, estimate a contribution from computers and software of 0.39 from 1990 to 1998.[21] While small in an absolute sense, widespread substitution and rapid accumulation lead to a contribution to growth that is large relative to other types of capital goods.

While U.S. firms were investing so heavily in computers, however, productivity remained slow. The Bureau of Labor Statistics (1999a, 1999b) reports U.S. private non-farm average labour productivity (ALP) growth of

only 1.2 percent per year and total factor productivity (TFP) growth of 0.4 percent from 1990 to 1997. In contrast, ALP and TFP increased 2.9 percent and 1.9 percent per year, respectively, from 1948 to 1973. Given the enormous promise and rapid investment, slow productivity is disappointing to some.[22]

To understand the productivity impact, one must make a careful distinction between the *use* of computers and the *production* of computers. Since computers are both an output from one industry (the computer-producing sector) and an input to others (the computer-using industries), one should expect different impacts across industries. Since the same constant-quality deflator is used to estimate real computer investment as an output (part of GDP as a final demand good) and as an input (part of the capital stock), the massive quality improvements in computers contribute to faster output growth in the computer-producing sector and faster input accumulation in the computer-using industries. Thus, one should expect rapid capital accumulation and ALP growth in computer-using industries, and technical progress and TFP growth in the computer-producing sector. This fundamental dichotomy is apparent in the seminal article of Solow (1957), but has often been overlooked in discussions of the computer productivity paradox.

Consider the productivity of firms and industries that invest in and use computers. As in Equation (4) and as emphasized by Stiroh (1998a), computer investment contributes directly to ALP growth through the traditional capital accumulation channel. By providing workers with more and better capital equipment to work with, investment in computers should raise labour productivity in the computer-using industries. However, TFP will not be directly affected by computer investment since all output contributions will be captured by the capital accumulation term. Computer-use increases TFP only if there are non-traditional effects like production spillovers or network externalities, or if inputs are measured incorrectly.

Now consider the productivity of firms and industries that produce computers and other high-tech goods. These industries are experiencing fundamental technical progress — the ability to produce more output from the same inputs — which should be measured as TFP and ALP growth, as in Equation (4).

Despite the straightforward conceptual relationship, the empirical evidence has been mixed. In terms of computer use and ALP growth, Gera, Gu, and Lee (1999) and McGuckin and Stiroh (1998) find a positive impact of computer investment in most industries, McGuckin, Streitwieser, and Doms (1998) report higher productivity in manufacturing plants that use high-tech equipment, while Berndt and Morrison (1995) report a negative impact. In terms of TFP growth, Siegel and Griliches (1992) and Siegel (1997) estimate a positive impact of computer investment, while Berndt and Morrison (1995) and Stiroh (1998a) report either a negative or an insignificant relationship.

Consistent with the notion that fundamental technical progress is the driving force behind these new high-tech investments, Stiroh (1998a), the Bureau of Labor Statistics (1998b), and Oliner and Sichel (2000) report strong industry TFP growth in the high-tech producing industries, e.g. U.S. SIC nos. 35 and 36. As an important caveat, however, Triplett (1996) shows that one must incorporate quality adjustments for all inputs to correctly allocate TFP across sectors. Since the Bureau of Economic Analysis recently incorporated constant-quality price deflators for semiconductors into the U.S. national accounts, an obvious area for future research is to update industry TFP estimates using the new input deflators.

There is also a large microeconomic literature that econometrically estimates the returns to computer or information technology (IT) investment across firms or industries.[23] This research, e.g. Gera, Gu, and Lee (1999), Brynjolffson and Hitt (1993, 1995, 1996), Lehr and Lichtenberg (1999), and Lichtenberg (1995), has typically estimated returns to computers that far exceed other forms of capital. In contrast, Berndt and Morrison (1995) and Morrison (1997) report evidence of over-investment in high-tech capital goods. Even the findings of super-returns, however, are not necessarily inconsistent with the neoclassical model and one does not need alternative answers like spillovers or network effects. Rather, computers must have high marginal products because they become obsolete so rapidly.[24] That is, while computers may have a low acquisition price, rapid obsolescence makes them expensive to use. Moreover, recent work by Brynjolffson and Yang (1997) suggests that much of the "excess returns" to computers actually represent returns to previously unspecified inputs such as software investment, training, and organizational change that accompany computer investment. Thus, the empirical evidence from the micro studies leads back to the neoclassical model of growth.

This still leaves the question of why ALP growth remains slow, and many authors have suggested that persistent measurement problems might be the culprit since computers are highly concentrated in service industries, where output and productivity are notoriously hard to measure. For example, Gera, Gu, and Lee (1999) report that in 1990, service industries accounted for 91 percent of all IT investment in Canada and 83 percent in the United States. Similarly, Triplett (1999b) and Stiroh (1998a) report only a slightly lower share in the United States. This has lead some commentators, for example Diewert and Fox (1999), Griliches (1994), Maclean (1997) and McGuckin and Stiroh (1999), to suggest that measurement errors may play a substantial role in the computer productivity paradox.

Mismeasurement can be important in two ways. First, Griliches (1994) points out that computer-intensive service industries are steadily growing as a share of developed economies, so any existing measurement error now leads to a larger understatement of aggregate productivity. However, Sichel (1997a) evaluates this channel empirically and concludes that the growing share of the service sector can account for only a small part of the productivity slowdown. Second, computers may be worsening measurement problems within computer-intensive industries. While the Bureau of Labor Statistics has made major improvements in the U.S. CPI to reduce bias,[25] the growing role of computers through the proliferation of new products, input substitution, and product improvements may have aggravated existing measurement problems in some industries. Dean (1999) and Gullickson and Harper (1999) provide details on the measurement problems in U.S. service industries.

As an important caveat, however, Baily and Gordon (1988) argue that many computer services are sold as intermediate goods, so the impact on final demand, i.e. the GDP, is likely to be small. In addition, Triplett (1999b) argues against the "new product" explanation. Nonetheless, this is an important area for future research since it is essentially unknown if measurement problems have worsened in computer-intensive, service industries.

A second common explanation is that computers are still relatively new and it may just be a matter of time until they fundamentally change the production process and usher in a period of faster productivity growth. David (1989, 1990), in particular, has received considerable attention for

drawing a parallel between the slow productivity benefits from electricity and from the computer age. However, Triplett (1999a) argues convincingly that the massive decline in computer prices, and hence the diffusion patterns, are unprecedented and he cautions against such analogies. Moreover, computers are no longer really a new investment — the first commercial purchase of an IBM UNIVAC mainframe computer occurred in 1954 and computer investment has been a separate entity in the U.S. national accounts since 1958 — so this critical mass hypothesis is beginning to lose credibility.[26]

A final explanation for slow productivity growth is simply that computers are perhaps not that productive. Anecdotes abound of failed systems, lengthy periods of downtime, unwanted and unnecessary "features," and time-consuming upgrades, all of which can reduce the productivity of computer investment. Gordon (1998) provides a summary of this pessimistic view. However, this implies enormous investment errors by businesses and is inconsistent with much of the empirical literature.

Despite the ongoing debate, the computer revolution is largely a neoclassical story of relative price decline and substitution. Technical change in the production of high-tech goods lowers their relative price, induces massive high-tech investment, and is ultimately responsible for changing the behavior of households and firms. These benefits, however, accrue primarily to the producers and users of high-tech investment goods with little evidence of large spillovers from computers. Future research should focus on the impact of computers in hard-to-measure service industries in a broader context that encompasses associated investments in software and training. Only by including all inputs can one correctly measure the productivity and returns from the computer revolution.

Labour Issues

The impact of investment on labour has been an area of much policy interest at least since the turn of the century, when the U.S. Bureau of Labor Statistics first began publishing labour productivity estimates in response to an outcry that new machinery was replacing jobs. The question of capital/labour substitution or complementarity is important since it directly affects labour market outcomes and living standards. Recent work has focused on whether new investment is biased towards certain types of labour and affects the wage premium for higher skills.

The impact of new investment and technological change on the composition and quality of the labour force is theoretically ambiguous.[27] Griliches (1969), for example, argues that capital is complementary to highly skilled labour due to increasing education needs to operate new equipment, while Braverman (1974) and Levy and Murnane (1996) argue that investment in high-tech equipment "de-skills" jobs, allowing tasks to be reassigned to lower levels and thus reduces the average skill level of labour. Likewise, the nature of skill-biased technological change, which is defined as an exogenous increase in the relative demand for skilled worker at a given relative wage ratio, is an empirical question.

Berman, Bound, and Griliches (1994) report evidence of equipment-skill complementarity, and conclude that skill-biased technological change was the dominant force behind the shift toward non-production workers in U.S. manufacturing during the 1980s. In particular, they find a positive correlation between skill upgrading and investment in computers and R&D, which they use as indicators of technological change. Berman, Bound, and Machin (1998) extend this work to developed countries and find similar results; Betts (1997) examines Canadian manufacturing industries and reports evidence of skill-biased technological change; Kahn and Lim (1998) report that productivity growth was concentrated in skill-intensive manufacturing industries; and Machin and Van Reenen (1998) find a significant link between skill upgrading and R&D intensity.[28] It is not clear, however, whether this really represents skill-biased technological change rather than neoclassical capital-skill complementarity. In Berman, Bound, and Griliches (1994) and Machin and Van Reenen (1998), for example, computer and R&D investments are used as the primary indicators of technology, but an alternative perspective would label these as specific types of investment and capital goods.

A related issue is how investment affects the wage structure. In the neoclassical model, investment and capital accumulation raise labour productivity and, since all inputs receive factor payments equal to their marginal product, this implies a direct increase in wages. Recent research has noted that new investment, particularly in information technology, is more likely to be used by highly educated workers and thus may be contributing to an increase in the wage premium associated with education. Likewise, skill-biased technical change should increase the productivity and returns to high-skill labour.

Krueger (1993) examines this issue and estimates a 10–15 percent wage premium for computer use and concludes that increased computerization accounts for a large share of the increased return to education. In a persuasive critique, however, DiNardo and Pischke (1997) reinterpret Krueger's results as evidence of unobserved heterogeneity that may be unrelated to computers *per se*, but is rewarded in the labour market. Likewise, Bartel and Sicherman (1997) find that wage premiums primarily reflect the sorting of workers and unobserved characteristics. Murphy, Riddell, and Romer (1998) report that technological progress has increased the relative demand for skilled workers in both the United States and Canada. Autor, Katz, and Krueger (1998) point out that the shift toward more-skilled workers has been going on for decades, and find that recent increases in high-skill labour are fastest in computer-intensive industries, although they point out a possible reverse causality.

Consistent with standard economic theory, these results show a wage premium for education and skills. While there is some disagreement on whether this premium reflects unobserved worker attributes, mismeasured complementary investment, or skill-biased technological change, the empirical facts are in agreement. Moreover, the distinction between capital quality and technology is partially semantic, which has generated much confusion in the literature. This issue is addressed next.

The Renewed "Embodiment Controversy"

Economists have spent considerable effort trying to unravel the sources of technological change and productivity growth. As discussed above, the modern neoclassical framework explicitly adjusts inputs for quality change and views technological progress as exogenous, while new growth theory explains technological progress as the result of spillovers, increasing returns, etc. An alternative perspective, however, argues that technological progress is embodied in new machinery and equipment and thus requires investment to affect output and productivity. In challenging papers, Greenwood, Hercowitz, and Krusell (1997) and Hercowitz (1998) recently brought this debate back to center stage and reopened the "embodiment controversy."[29]

The embodiment idea goes back at least to Solow (1960), who suggested that technical change is "embodied" in new investment goods, which are therefore needed to realize the benefits of technical progress. In response, Jorgenson (1966) showed that this is indistinguishable from the neoclassical view of exogenous technological change, depending

critically on how investment prices are calculated, concluding that "one can eliminate growth in total factor productivity altogether by suitably 'adjusting' the measured price of investment goods" (p. 7). That is, by adjusting capital inputs for quality change, output and productivity growth are attributed to input accumulation and not to the total factor productivity (TFP) residual. This correspondence has led to some semantic confusion since the same force can be alternatively labeled input accumulation or TFP growth depending on how input and output price deflators are incorporated. An important conclusion of Jorgenson is that investment as both an input (via capital accumulation) and as an output should be adjusted for changes in quality.

As part of the debate on the appropriateness of quality-adjusted deflators for computers, Hulten (1992) presents a detailed growth accounting derivation and shows that failure to account for quality change in investment "suppresses the quality effects into the conventional total factor productivity residual" (p. 976). It should be pointed out that this type of quality adjustment reflects the improved productivity of particular assets and is different from the substitution between heterogeneous capital assets described above.

Greenwood, Hercowitz, and Krusell (1997) and Hercowitz (1998) recognize this perspective, but argue against it, attributing 60 percent of postwar productivity growth to investment-specific technological change that is conceptually distinct from capital accumulation and disembodied technological change. In particular, they argue that constant-quality price indexes are appropriate for deflating investment inputs, but not for investment as an output. This welfare-based perspective argues that real output should be measured in foregone consumption units, so that nominal investment should be deflated by the price of consumption goods.

As evidence, Greenwood, Hercowitz, and Krusell (1997) point out that Gordon (1990) has estimated that the relative price of equipment in the United States has fallen 3 percent per year in the postwar era. This is a puzzling appeal to evidence, however, since the goal of Gordon's monumental effort was to develop better output price measures, and he explicitly states that "both input price and output price indexes treat quality change consistently" (p. 52). Moreover, the Greenwood, Hercowitz, and Krusell approach severs the link between the sources of growth (labour, capital, and technology) and the uses of growth (consumption and

investment goods) that constitute a complete model of production and welfare.

The debate between embodied and disembodied technological progress is clearly a difficult theoretical issue and is far from decided. It seems, however, that a resolution requires a complete sectoral model that explicitly distinguishes total factor productivity in the production of investment goods from labour productivity in the use of investment goods.[30] A full resolution of this controversy is beyond the scope of this review, however, and remains an important area for subsequent research.

Plant-Level Evidence on Investment and Productivity

The recent availability of large longitudinal data sets, e.g. the U.S. Longitudinal Research Database (LRD) housed at the U.S. Census Bureau, has opened up a new channel for exploring the relationship between investment and productivity. Much of the work discussed above is at the industry or aggregate level, which can hide important variations in economic relationships. Likewise, theoretical and empirical work by Caballero, Engel, and Haltiwanger (1995) and others shows the importance of a micro perspective on investment dynamics.[31] Since the LRD includes an enormous number of manufacturing plants observed at five-year intervals over a large time span, it can provide new insights on the productivity process.[32]

In an influential paper, Baily, Hulten, and Campbell (1992) explore the dynamics of plant productivity growth and find strong firm-effects, an important role for reallocation from low-productivity to high-productivity plants, and a strong association between relative productivity and relative wages. They also find some evidence of "vintage effects," as old plants are systematically less productive than new plants, although the contribution of capital to output is small. Jensen, McGuckin, and Stiroh (1998) present more recent evidence of this type of vintage effect as recent cohorts with access to a modern generation of plant and equipment capital enter with higher productivity levels.

Power (1998) uses the LRD to explore the relationship between investment and productivity. After controlling for relevant characteristics, she finds no evidence of a correlation between productivity and measures of recent equipment investment. These remarkable results suggest that other plant characteristics, e.g. location and management, are more important determinants of productivity, and question the importance of investment as

a source of productivity. The counter-intuitiveness of these results, however, requires that much more work be done before they can be taken as a stylized fact or incorporated into policy. In particular, these results need to be reconciled with the theoretical literature that makes opposing predictions, and verification against other data sets and alternative approaches is required.

Determinants of Investment

As a final note, it should be pointed out that this paper has focused on the impact of investment on productivity, but it has not addressed the microeconomic factors, e.g. tax policy, cost of capital components, or capital market features, that drive investment decisions. That is, the paper examines the effects of investment, but not its causes. This is clearly important for understanding the role that investment plays as a source of growth and there is a large body of literature that explores this issue. Cummins, Hassett, and Hubbard (1994), Hassett and Hubbard (1996), and Hubbard (1998) provide recent reviews and list the relevant papers.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

This paper provides a broad overview of recent theoretical developments that link investment to productivity and summarizes the corresponding empirical evidence. While different schools of thought emphasize alternative transmission mechanisms and some empirical results are inconclusive, one conclusion appears universal: broadly defined investment is the crucial factor that increases productivity, generates economic growth, and raises living standards. Moreover, the neoclassical model of broadly defined investment and capital with returns that are primarily internal appears to provide the best explanation for observed variations in productivity.

The many contributors discussed above have made enormous progress in furthering our understanding of this singularly important topic, but many questions remain unanswered and much more research needs to be done. The remainder of this section outlines several research questions that appear to be both conceptually relevant and feasible.

How important are the non-traditional effects that form such a crucial part of the new growth literature? The current evidence suggests that investment benefits largely accrue to the economic agents who undertake the investment, but it is certainly possible that difficult measurement and identification issues are obscuring the importance of spillovers. A number of prominent researchers have focused on this area with some success, but more evidence from a variety of methodologies and data sets is needed to build a convincing case in that direction. This is an especially relevant topic since it leads directly to policy issues like tax incentives and subsidies for certain types of investment activities, and to a potential role for government provision of specific types of capital like infrastructure or R&D.

What is the contribution of different types of investment and capital to productivity growth? It seems clear, on both theoretical and empirical grounds, that the broader definition of investment is the appropriate concept. Investment in human capital, for example, involves a trade-off of current consumption for future consumption and it would be misleading to dismiss this contribution. Since the various investment components are highly correlated in practice, however, any attempt to measure the productivity impact of any type of investment must consider a broad specification with appropriate quality adjustments. Failure to do so will lead

to biased estimates of the importance of the included variables and can lead to consequential policy errors.

Why is service sector productivity growth so slow? Despite massive investment in high-tech goods, measured labour productivity growth in services remains far below that of manufacturing in most developed countries. Future research should attempt to sort out whether this reflects data deficiencies, e.g. a lack of surveys and censuses, worsening measurement problems, or a real divergence in productivity trends. A fruitful avenue of research would reconcile aggregate and industry results with microeconomic studies, either from newly created longitudinal data sets for services or firm-specific studies from alternative sources. For example, many studies focus on the U.S. banking industry due to the large amount of data available from regulatory agencies. These micro-data sets offer an alternative way to explore the plausibility of the slow productivity growth reported at the aggregate and sectoral level.

What is the economic impact of the computer revolution? While a simple neoclassical story of input substitution goes a long way in explaining the behavior of firms and households, widespread capital deepening needs to be reconciled with sluggish labour productivity growth. As mentioned above, future research must approach this question with a broadly specified and quality-adjusted input concept in order to correctly measure the impact of the computer revolution. Moreover, since computers are highly concentrated in service industries, this issue is fundamentally linked to the question of slow productivity growth in services.

Are the rapid quality improvements and corresponding evolution of computer prices in the United States unique? Much of the empirical work on the computer productivity paradox has been done in the United States, where the dominant empirical fact is the massive decline in the quality-adjusted price of computers. Wyckoff (1995) shows that a dominating trend like this can have a large impact on measured productivity growth, even at the sectoral level, and thus must be accounted for in any international comparison. According to van Ark (1996), only Australia and Canada have incorporated hedonic price indices for computers similar to the one used in the United States. Future research that compares the productivity impact of computers across countries must address this deflation issue and determine the proper way to account for differences in pricing methodologies. For example, since the United States is a major exporter of computer equipment,

is it appropriate to use the U.S. deflator in other countries? Alternatively, less-developed countries may be purchasing a different mix or vintage of equipment and thus the U.S. deflator could overstate quality improvements in these countries. Ultimately, this is a question that can only be addressed empirically on a country-by-country basis.

What do micro-data sets tell us that more aggregate data sets cannot? With the recent creation of longitudinal data sets, there has been an outpouring of new research showing that aggregate data hide much of the story behind productivity dynamics. In addition, this research has raised new questions and suggested areas for future work. For example, the recent findings by Power (1998) that investment does not lead to productivity at the plant level needs to be examined further and substantiated across alternative methodologies and data sets.

How real is the embodiment controversy and what is the proper way to resolve this question? Forty years after Solow's work, there is still heated debate about the relative importance of embodied and disembodied technical progress. Is this debate illusory in the sense that the competing views are simply labeling the same force differently? Or are there deeper, underlying conceptual differences? While difficult, a useful theoretical contribution would model this debate in a common framework that allows each perspective to be examined and semantic differences to be separated from real ones.

NOTES

1 See Jorgenson (1996) for a discussion of the growth theory revival, Barro and Sala-i-Martin (1995) for a thorough analysis of the neoclassical framework, Aghion and Howitt (1998) for a detailed review of different strands of the new growth theory, and Klenow and Rodriguez-Clare (1997) and Mankiw (1995) for a comparison of neoclassical and endogenous growth models.

2 It is a straightforward change to make technology labour-augmenting or "Harrod-neutral," so that the production function is $Y = f(K,AL)$.

3 This also directly affects living standards, measured as per capita income. See McGuckin and van Ark (1999) for international estimates of how they differ empirically due to differences in unemployment rates, labor force participation rates, etc.

4 For example, Stiroh (1998b) traces the evolution of the long-run projection models used by the U.S. government, e.g. the Social Security Administration, the Congressional Budget Office, the Office of Management and Budget, and the General Accounting Office, and shows that all are firmly embedded in this neoclassical tradition.

5 Mankiw (1995), particularly on pp. 280–9, discusses empirical objections to the neoclassical model.

6 It should be pointed out that Solow (1957) explicitly favored using the annual flow of capital services, but data limitations forced him to use the "less utopian measures of the stock of capital goods" (p. 313).

7 Griliches (1996) provides a summary of the early work on human capital.

8 In earlier work, Lucas (1988) incorporates human capital into a growth model, but explicitly includes an external spillover effect; this model is discussed below in the context of the new growth theory.

9 Griliches (1994, 1995) and Hall (1996) provide detailed surveys of the empirical literature.

10 Griliches (1995) uses the letter *K* to represent R&D capital, but it is changed to *R* here to avoid confusion.

11 The conference proceedings in Munnell (1990) explore these issues. Aaron (1990), in particular, is a good example of important critiques of the Aschauer work. Gramlich (1994) and Binder and Smith (1996) provide more recent reviews.

12 Mankiw (1995) makes a similar point when he discusses the "degrees of freedom" problem in the context of interpreting cross-sectional growth regressions. Wolff (1996) is a notable exception and includes R&D spending, mean education attainment, and the age of the capital stock in an attempt to unravel the productivity slowdown.

13 The following simplifications follow Romer (1994), who summarizes the evolution of endogenous growth models.

14 Coe and Helpman (1995) make this point explicitly (p. 875).

15 Good, Nadiri, and Sickles (1996), Hall (1996) and Griliches (1992, 1994, 1995) are recent examples.

16 Good, Nadiri, and Sickles (1996) state that "most of these recent studies point in the direction that there is some effect of R&D spillovers on the productivity growth of the receiving industry or economies" (p. 39); Griliches (1992) states that "in spite of many difficulties, there has been a significant number of reasonably well-done studies all pointing in the same direction: R&D spillovers are present, their magnitude may be quite large, and social rates of return remain significantly above private rates" (p. 43).

17 Griliches (1994) anticipates this finding when he notes that there is no reason to believe that knowledge externalities have slowed down in the last twenty years when aggregate productivity growth slowed.

18 Brynjolffson and Yang (1996) summarize recent empirical work, Sichel (1997b) provides a broad analysis of the impact of computers, and Triplett (1999a) presents a detailed critique of common explanations.

19 See Thomas and Kowal (1999) for recent estimates of computer prices in the producer price index series.

20 There is strong agreement that adjusting the output of computers for quality change is appropriate, but there are dissenting views. Denison (1989), for example, argues specifically against constant-quality price indexes for computers.

21 These empirical differences primarily reflect the time periods and output concept. Haimowitz (1998), for example, focuses on private non-farm business output, while Jorgenson and Stiroh (1999, 2000) use an extended output concept that includes imputations for consumers' durables and housing. In addition, Jorgenson and Stiroh (2000) use data following the BEA Benchmark Revision of 1999 that incorporate software as a separate investment good.

22 Ultimately, one would like to answer a difficult counterfactual question: How fast would labour productivity have grown in the absence of computers? But that is very difficult indeed. For example, the explosion of computing power occurred roughly in tandem with the well-known productivity slowdown and one must distinguish the productivity impact of computers from the host of factors examined in that context. See *The Decline in Productivity Growth*, Federal Reserve Bank of Boston Conference Series No. 22 (1980), Baily and Gordon (1988), Baily and Schultze (1990), Wolff (1996), and Gera, Gu, and Lee (1998) for a few examples of the large literature on the productivity slowdown.

23 Brynjolffson and Yang (1996) provide a review.

24 Oliner (1993, 1994) presents details on computer depreciation.

25 See Greenlees and Mason (1996) for details.

26 Gordon (1989) provides a history of the early evolution of computer prices and diffusion.

27 Binswanger (1974) provides details.

28 On a historical note, Goldin and Katz (1998) report evidence of capital-skill complementarity and skill-biased technological change in the United States from 1909 to 1940.

29 Van Ark (1996) discusses the controversy in the context of international productivity comparisons.

30 Note that Greenwood, Hercowitz, and Krusell (1997) calibrate a simple two-sector model, but do not fully integrate it with their empirical work on the sources of growth.

31 Caballero (1997) provides a review of this literature.

32 Jensen and McGuckin (1997) provide a review of the empirical work.

BIBLIOGRAPHY

Aaron, Henry J. "Discussion of 'Why is Infrastructure Important?'" in *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?* Edited by Alicia H. Munnell. Conference Series No. 34. Federal Reserve Bank of Boston, 1990, pp. 51–63.

Abel, Andrew B. "Discussion of 'Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus.'" *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1992, pp. 200–5.

Aghion, Philippe, and Peter Howitt. "A Model of Growth Through Creative Destruction." *Econometrica*, 60 (1992):323–50.

_____. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1998.

Arrow, Kenneth J. "The Economic Implications of Learning by Doing." *Review of Economic Studies*, 29 (June 1962):155–73.

Aschauer, David. "Is Public Expenditure Productive?" *Journal of Monetary Economics*, 23, 2 (1989a):177–200.

_____. "Does Public Capital Crowd Out Private Capital?" *Journal of Monetary Economics*, 24, 2 (1989b):171–88.

_____ . "Why is Infrastructure Important?" in *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?* Edited by Alicia H. Munnell. Conference Series No. 34. Federal Reserve Bank of Boston, 1990, pp. 21–50.

Auerbach, Alan J., Kevin A. Hassett, and Stephen D. Oliner. "Reassessing the Social Returns to Equipment Investment." *Quarterly Journal of Economics*, 109, 3 (1994):789–802.

Autor, David, Lawrence F. Katz, and Alan Krueger. "Computing Inequality: Have Computers Changed the Labor Market?" *Quarterly Journal of Economics*, 113, 4 (November 1998):1169–214.

Baily, Martin Neil and Robert J. Gordon. "The Productivity Slowdown and Explosion of Computer Power." *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1988, pp. 1–45.

Baily, Martin Neil, Charles Hulten, and David Campbell. "Productivity Dynamics in Manufacturing Plants." *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1992, pp.187–249.

Baily, Martin Neil, and Charles L. Schultze. "The Productivity of Capital in a Period of Slower Growth." *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1990, pp. 369–406.

Barro, Robert J. "Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth." *Journal of Political Economy*, 98, 5, Pt. 2 (1990):S103–25.

Barro, Robert J., and Xavier Sala-i-Martin. *Economic Growth.* New York: McGraw-Hill, 1995.

Bartel, Ann P., and Nachum Sicherman. "Technological Change and Wages: An Inter-Industry Analysis." NBER Working Paper No. 5941, February 1997.

Basu, Susanto. "Discussion of 'Technology in Growth Theory'," in *Technology and Growth.* Edited by Jeffrey C. Fuhrer and Jane Sneddon Little. Conference Series No. 40. Federal Reserve Bank of Boston, 1996, pp. 78–82.

Becker, Gary. "Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis." *Journal of Political Economy*, 70 (1962):9–49.

Berman, Eli, John Bound, and Zvi Griliches. "Changes in the Demand for Skilled Labor within US Manufacturing Industries: Evidence from the Annual Survey of Manufacturing." *Quarterly Journal of Economics*, 109 (1994):367–98.

Berman, Eli, John Bound, and Stephen Machin. "Implications of Skill-Biased Technological Change: International Evidence." *Quarterly Journal of Economics*, 113, 4 (November 1998):1245–80.

Berndt, Ernst R., and Catherine J. Morrison. "High-Tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries: An Exploratory Analysis." *Journal of Econometrics*, 65 (1995):9–43.

Betts, Julian. "The Skill Bias of Technological Change in Canadian Manufacturing Industries." *Review of Economics and Statistics*, 79, 1 (February 1997):146–50.

Billings, Anthony B. "Capital Allocation: How The US Compares with Other Major Industrialized Nations." *Applied Economics*, 28 (1996):353–62.

Binder, Susan J., and Theresa M. Smith. "The Linkage Between Transportation Infrastructure Investment and Productivity: A U.S. Federal Research Perspective," in *Transportation Infrastructure Investment and Productivity*. Edited by David F. Batten and Charlie Karlsson, New York: Heidelberg and Springer, 1996.

Binswanger, Hans. "The Measurement of Technical Biases with Many Factors of Production." *American Economic Review*, 64 (December 1974):964–76.

Black, Sanda E., and Lisa M. Lynch. "Human Capital Investments and Productivity." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 86, 2 (May 1996):263–67.

Boskin, Michael J., and Lawrence J. Lau. "Contributions of R&D to Economic Growth," in *Technology, R&D and the Economy*. Edited by Bruce L. R. Smith and Claude E. Barfield, Washington, D.C.: The Brookings Institution and American Enterprise Institute, 1996, pp. 75–107.

Braverman, Harry. "Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century." *New York Monthly Review*, 1974.

Bresnahan, Timothy F., and Manuel Trajtenberg. "General Purpose Technologies – Engines of Growth?" *Journal of Econometrics*, 65 (1995):83–108.

Brown, Lynne Elaine, and Rebecca Hellerstein. "Are We Investing Too Little?" *New England Economic Review* (November-December 1997):29–50.

Brynjolffson, Erik, and Lorin Hitt. "Is Information Systems Spending Productive? New Evidence and New Results." *Proceedings of the 14th International Conference on Information Systems*, 1993.

_____. "Information Technology as a Factor of Production: The Role of Differences Among Firms." *Economics of Innovation and New Technology*, 3, 3–4 (1995):183–99.

_____. "Paradox Lost? Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending." *Management Science*, April 1996.

Brynjolffson, Erik, and Shinkyu Yang. "Information Technology and Productivity." *Advances in Computers*, 43 (1996):179–214.

_____. "The Intangible Benefits and Costs of Computer Investments: Evidence from the Financial Markets." *Proceedings of the International Conference on Information Systems*, 1997.

Caballero, Ricardo J. "Aggregate Investment." NBER Working Paper No. 6264, 1997. Forthcoming in *Handbook of Macroeconomics*. Edited by John Taylor and Michael Woodford.

Caballero, Ricardo J., Eduardo M.R.A. Engel, and John C. Haltiwanger. "Plant-Level Adjustment and Aggregate Investment Dynamics." *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1995, pp. 1–54.

Cassou, Steven P., and Kevin J. Lansing. "Optimal Fiscal Policy, Public Capital, and the Productivity Slowdown." *Journal of Economic Dynamics and Control*, 22 (1998):911–35.

Cobb, Charles W., and Paul A. Douglas. "A Theory of Production." *American Economic Review*, 28, 1 (March 1928):139–65.

Coe, David T., and Elhanan Helpman. "International R&D Spillovers." *European Economic Review*, 39 (1995):859–87.

Cole, Roseanne et al. "Quality Adjusted Price Indexes for Computer Processors and Selected Peripheral Equipment." *Survey of Current Business*, 66, 1 (January 1986):28–45.

Collins, Susan M., and Barry P. Bosworth. "Economic Growth in East Asia: Accumulation versus Assimilation." *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1996, pp. 135–203.

Cummins, Jason G., Kevin A. Hassett and R. Glenn Hubbard. "A Reconsideration of Investment Behavior Using Tax Reforms as Natural Experiments." *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1994, pp. 1–74.

David, Paul A. "Computer and Dynamo: The Modern Productivity Paradox in a Not-Too-Distant Mirror." Center for Economic Policy Research Publication No. 172, 1989.

_____. "The Dynamo and the Computer: A Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 80, 2 (May 1990):355–61.

Dean, Edwin R. "The Accuracy of the BLS Productivity Measures." *Monthly Labor Review*, February 1999, pp. 24–34.

DeLong, J. Bradford, and Lawrence H. Summers. "Equipment Investment and Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*, 106, 2 (1991):445–502.

_____. "Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus?" *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1992, pp. 157–99.

_____. "How Strongly Do Developing Countries Benefit from Equipment Investment?" *Journal of Monetary Economics*, 32 (1993):395–415.

Denison, Edward F. *Estimates of Productivity Change by Industry*. Washington, D.C.: The Brookings Institution, 1989.

Diewert, Erwin, and Kevin Fox. "Can Measurement Error Explain the Productivity Paradox?" *Canadian Journal of Economics*, 32, 2 (April 1999):251–80.

DiNardo, John, and Jorn-Steffen Pischke. "The Returns to Computer Use Revisited: Have Pencils Changed the Wage Structure Too?" *Quarterly Journal of Economics*, 112 (February 1997):291–303.

Dougherty, Chrys, and Dale W. Jorgenson. "International Comparisons of the Sources of Economic Growth." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 86, 2 (May 1996):25–9.

_____. "There is No Silver Bullet: Investment and Growth in the G-7." *National Institute Economic Review*, 16, 2 (October 1997):57–74.

Gera, Surendra, Wulong Gu, and Frank C. Lee. "Capital-Embodied Technical Change and the Productivity Growth Slowdown in Canada." Working Paper No. 21, Industry Canada, March 1998.

_____. "Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States." *Canadian Journal of Economics*, 32, 2 (April 1999):384–407.

Goldin, Claudia, and Lawrence F. Katz. "The Origins of Technology-Skill Complementarity." *Quarterly Journal of Economics*, 113, 3 (August 1998):693–732.

Good, David H., M. Ishaq Nadiri, and Robin C. Sickles. "Index Number and Factor Demand Approaches to the Estimation of Productivity." NBER Working Paper No. 5790. Forthcoming in *Handbook of Applied Econometrics*, Microeconometrics, 11. Edited by Hashem Pesaran and Peter Schmidt, 1996.

Gordon, Robert J. "The Postwar Evolution of Computer Prices," in *Technology and Capital Formation*. Edited by Dale W. Jorgenson and Ralph Landau, Cambridge, Mass.: The MIT Press,1989.

_____. *The Measurement of Durable Goods Prices*. Chicago Ill.: University of Chicago Press, 1990.

_____. "Monetary Policy in the Age of Information Technology: Computers and the Solow Paradox." Paper presented at the Conference on Monetary Policy in a World of Knowledge-Based Growth, Quality Change, and Uncertain Measurement, Bank of Japan, June 18–19 1998.

_____ ."U.S. Economic Growth Since 1870: What We Know and Still Need to Know." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 89, 2 (May 1999):123–8.

Gramlich, Edward M. "How Should Public Infrastructure Be Financed?" in *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?* Edited by Alicia H. Munnell. Conference Series No. 34. Federal Reserve Bank of Boston, 1990, pp. 222–37.

_____. "Infrastructure Investments: A Review Essay." *Journal of Economic Literature*, 32 (September 1994):1176–96.

Greenlees, John S., and Charles C. Mason. "Overview of the 1998 Revision of the Consumer Price Index." *Monthly Labor Review*, December 1996, pp. 3–9.

Greenwood, Jeremy, Zvi Hercowitz, and Per Krusell. "Long–Run Implications of Investment-Specific Technological Change." *American Economic Review*, 87, 3 (June 1997):342–62.

Griliches, Zvi. "Capital-Skill Complementarity." *Review of Economics and Statistics*, 51, 4 (November 1969):465–8.

_____. "Research Expenditures and Growth Accounting," in *Science and Technology in Economic Growth*. Edited by B.R. Williams, London: Macmillan, 1973, pp. 59–95.

_____. "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth." *Bell Journal of Economics*, 10, 1 (Spring 1979):92–116.

_____. "The Search for R&D Spillovers," *Scandinavian Journal of Economics*, 94 (1992):29–47.

_____. "Productivity, R&D, and the Data Constraint." *American Economic Review*, 84, 1 (March 1994):1–23.

_____. "R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues," in *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Edited by P. Stoneman, Oxford: Basil Blackwell, 1995, pp. 52–89.

_____. "Education, Human Capital, and Growth: A Personal Perspective." NBER Working Paper No. 5426, 1996.

Grossman, Gene M. "Discussion of 'Technology in Growth Theory'," in *Technology and Growth – Conference Proceedings*. Edited by Jeffrey C. Fuhrer and Jane Sneddon Little. Conference Series No. 40. Federal Reserve Bank of Boston, 1996, pp. 83–9.

Grossman, Gene M., and Elhanan Helpman. *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1991.

Gullickson, William, and Michael J. Harper. "Possible Measurement Bias in Aggregate Productivity Growth." *Monthly Labor Review*, February 1999, pp. 47–67.

Haimowitz, Joseph H. "Has the Surge in Computer Spending Fundamentally Changed the Economy?" *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City (Second Quarter 1998):27–42.

Hall, Bronwyn H. "R&D Tax Policy in the Eighties: Success or Failure?" *Tax Policy and the Economy*, 7 (1993):1–36.

_____. "The Private and Social Returns to Research and Development," in *Technology, R&D and the Economy*. Edited by Bruce. L.R. Smith and Claude E. Barfield, Washington, D.C.: The Brookings Institution and American Enterprise Institute, 1996, pp. 289–331.

Hall, Robert E., and Charles I. Jones. "Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others?" *Quarterly Journal of Economics*, 114 (1999).

Hall, Robert E., and Dale W. Jorgenson. "Tax Policy and Investment Behavior." *American Economic Review*, 57, 3 (June 1967):391–414.

Hassett, Kevin A., and R. Glenn Hubbard. "Tax Policy and Investment." NBER Working Paper No. 5683, 1996.

Heckman, James J., Lance Lochner, and Christopher Taber. "Tax Policy and Human Capital Formation." NBER Working Paper No. 6462, March 1998.

Helpman, Elhanan. *General Purpose Technologies and Economic Growth*. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1998.

Hercowitz, Zvi. "The Embodiment Controversy: A Review Essay." *Journal of Monetary Economics*, 41 (1998):217–24.

Ho, Mun, and Dale W. Jorgenson. "Policies to Stimulate Economic Growth." Harvard University, 1999 (manuscript).

Hsieh, Chang-Tai. "What Explains the Industrial Revolution in East Asia? Evidence from Factor Markets." Working Paper. University of California, Berkeley, November 1997.

Hubbard, R. Glenn. "Capital-Market Imperfections and Investment." *Journal of Economic Literature*, 36 (March 1998):193–225.

Hulten, Charles R. "Growth Accounting When Technical Change is Embodied in Capital." *American Economic Review*, 82, 4 (September 1992):964–80.

_____. "Infrastructure Capital and Economic Growth: How Well You Use It May Be More Important than How Much You Have." NBER Working Paper No. 5847, 1996.

Jensen, J. Bradford, and Robert H. McGuckin. "Firm Performance and Evolution: Empirical Regularities in the US Microdata." *Industrial and Corporate Change*, 6, 1 (1997):25–47.

Jensen, J. Bradford, Robert H. McGuckin, and Kevin J. Stiroh. "The Impact of Vintage and Survival on Productivity: Evidence from Cohorts of U.S. Manufacturing Plants." The Conference Board, 1998 (manuscript).

Jones, Charles I. "R&D-Based Models of Economic Growth." *Journal of Political Economy*, 103 (August 1995a):759–84.

_____. "Time Series Tests of Endogenous Growth Models." *Quarterly Journal of Economics*, 110 (May 1995b):495–525.

_____. "Growth: With or Without Scale Effects." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 89, 2 (May 1999):139–44.

Jones, Charles I., and John C. Williams. "Measuring the Social Return to R&D." *Quarterly Journal of Economics*, 113, 4 (November 1998): 1119–36.

Jorgenson, Dale W. "The Embodiment Hypothesis." *Journal of Political Economy*, 74,1 (February 1966):1–17.

_____. "Productivity and Economic Growth," in *Fifty Years of Economic Measurement.* Edited by Ernst R. Berndt and Jack E. Triplett, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1990, pp. 19–118.

_____. "Technology in Growth Theory," in *Technology and Growth – Conference Proceedings.* Edited by Jeffrey C. Fuhrer and Jane Sneddon Little. Conference Series No. 40. Federal Reserve Bank of Boston, 1996, pp. 45–77.

Jorgenson, Dale W., and Zvi Griliches. "The Explanation of Productivity Change." *Review of Economic Studies*, 34, 9 (July 1967):249–80.

Jorgenson, Dale W., and Kevin J. Stiroh. "Computers and Growth." *Economics of Innovation and New Technology*, 3, 3–4 (1995):295–316.

_____. "Information Technology and Growth." *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 89, 2 (May 1999):109–15.

_____. "U.S. Economic Growth in the New Millennium." 2000 (manuscript).

Jorgenson, Dale W., and Eric Yip. "Whatever Happened to Productivity Investment and Growth in the G-7?" Harvard University, 1999 (manuscript).

Jorgenson, Dale W., and Kun-Young Yun. *Tax Reform and the Cost of Capital*, Oxford: Clarendon Press, 1991.

Kahn, James A., and Jong-Soo Lim. "Skilled Labor-Augmenting Technical Progress in U.S. Manufacturing." *Quarterly Journal of Economics*, 113, 4 (November 1998):1281–1308.

Keller, Wolfgang. "Are International R&D Spillovers Trade-Related? Analyzing Spillovers among Randomly Matched Trade Partners." *European Economic Review*, 42 (1998):1469–81.

Kirova, Milka S., and Robert E. Lipsey. "Does the United States Invest 'Too Little'?" Working Paper No. 97–020a. Federal Reserve Bank of St. Louis, 1997.

_____. "Measuring Real Investment: Trends in the United States and International Comparisons." *Review*, Federal Reserve Bank of St. Louis (January-February 1998):3–18.

Klenow, Peter J., and Andres Rodriguez-Clare. "The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has it Gone Too Far?" in *NBER Macroeconomics Annual 1997*. Edited by Ben S. Bernanke and Julio J. Rotemberg, 1997, pp. 73–114.

Krueger, Alan B. "How Computers Have Changed the Wage Structure: Evidence from Microdata, 1984–89." *Quarterly Journal of Economics*, 108, 1 (1993):33–61.

Krugman, Paul. "The Myth of Asia's Miracle." *Foreign Affairs* (November-December 1994):62–78.

Lehr, Bill, and Frank Lichtenberg. "Information Technology and its Impact on Firm-Level Productivity: Evidence from Government and Private Data Sources, 1977–1993." *Canadian Journal of Economics*, 32, 2 (April 1999):335–62.

Levy, Frank, and Richard J. Murnane. "With What Skills are Computers a Complement?" *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 86, 2 (May 1996):258–62.

Lichtenberg, Frank R. "The Output Contribution of Computer Equipment and Personnel: A Firm-Level Analysis." *Economics of Innovation and New Technology*, 3, 3–4 (1995):201–17.

Lord, William, and Peter Rangazas. "Capital Accumulation and Taxation in a General Equilibrium Model with Risky Human Capital." *Journal of Macroeconomics*, 20, 3 (Summer 1998):509–31.

Lucas, Robert E. Jr. "On the Mechanics of Economic Development." *Journal of Monetary Economics*, 22 (1988):3–42.

Machin, Stephen, and John Van Reenen. "Technology and Changes in Skill Structure: Evidence from Seven OECD Countries." *Quarterly Journal of Economics*, 113, 4 (November 1998):1215–44.

Maclean, Dinah. "Lagging Productivity Growth in the Service Sector: Mismeasurement, Mismanagement or Misinfomation?" Working Paper No. 97–6. Bank of Canada, 1997.

Mankiw, N. Gregory. "The Growth of Nations." *Brookings Papers on Economic Activity 1*, 1995, pp. 275–326.

Mankiw, N. Gregory, David Romer, and David Weil. "A Contribution to the Empirics of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economic Growth*, May 1992, pp. 407–38.

McGuckin, Robert H., and Kevin J. Stiroh. "Computers, Productivity, and Growth." *Economic Research Report*, The Conference Board, Report No. 1213–98-RR, 1998.

_____. "Do Computers Make Output Harder to Measure?" The Conference Board, 1999 (manuscript).

McGuckin, Robert H., Mary L. Streitwieser, and Mark Doms. "The Effect of Technology Use on Productivity Growth." *Economics of Innovation and New Technology*, 7 (1998):1–26.

McGuckin, Robert H., and Bart van Ark. "The Euro's Impact on European Labor Markets." *Perspectives on a Global Economy*, The Conference Board, Report No. 1236–99-RR, 1999.

Mincer, Jacob. "Investment on Human Capital and Personal Income Distribution." *Journal of Political Economy*, 66 (1958):281–302.

_____. *Schooling, Experience, and Earnings*, New York: Columbia University Press for NBER, 1974.

Morrison, Catherine J. "Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in U.S. Manufacturing Industries." *Review of Economics and Statistics*, 79 (August 1997):471–81.

Morrison, Catherine J., and Amy Ellen Schwartz. "State Infrastructure and Productivity Performance." *American Economic Review*, 86, 5 (December 1996):1095–111.

Morrison, Catherine J., and Donald Siegel. "External Capital Factors and Increasing Returns in U.S. Manufacturing." *Review of Economics and Statistics*, 79 (November 1997):647–54.

Munnell, Alicia H., ed. *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?* Conference Series No. 34. Federal Reserve Bank of Boston, 1990.

Murphy, Kevin M., W. Craig Riddell, and Paul M. Romer. "Wages, Skills, and Technology in the United States and Canada," in *General Purpose Technologies and Economic Growth*. Edited by Elhanan Helpman, Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1998.

Nadiri, M. Ishaq, and Theofanis P. Mamuneas. "The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries." *Review of Economics and Statistics*, 76, 1 (February 1994):22–37.

Nazmi, Nader, and Miguel D. Ramirez. "Public and Private Investment and Economic Growth in Mexico." *Contemporary Economic Policy*, 15 (January 1997):65–75.

Oliner, Stephen D. "Constant Quality Price Change, Depreciation and Retirement of Mainframe Computers," in *Price Measurement and Their Uses*. Edited by Murray F. Foss, Marilyn E. Manser and Alan H. Young, Chicago, Ill.: University of Chicago Press, 1993.

_____. "Estimates of Depreciation and Retirement of Computer Peripheral Equipment." 1994 (manuscript).

Oliner, Stephen D., and Daniel E. Sichel. "Computers and Output Growth Revisited: How Big Is the Puzzle." *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1994, p. 273–317.

_____. "The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?" Federal Reserve Board, February 2000 (manuscript).

Pilat, Dirk. "Competition, Productivity, and Efficiency." *OECD Economic Studies*, 27 (1996):107–46.

Power, Laura. "The Missing Link: Technology, Investment, and Productivity." *Review of Economics and Statistics*. 80, 2 (May 1998):300–13.

Rodrick, Dani. "TFPG Controversies, Institutions, and Economic Performance in East Asia." NBER Working Paper No. 5914, February 1997.

Romer, Paul. "Increasing Returns and Long-Run Growth." *Journal of Political Economy*, 94, 5 (October 1986):1002–37.

_____. "Endogenous Technological Change." *Journal of Political Economy*, 98, 5, Pt. 2 (1990):S71–101.

_____. "The Origins of Endogenous Growth." *Journal of Economic Perspectives*, 8, 1 (Winter 1994):3–22.

Sanchez-Robles, Blanca. "Infrastructure Investment and Growth: Some Empirical Evidence, *Contemporary Economic Policy*, 16 (January 1998):98–108.

Schultz, Theodore W. "Investment in Human Capital." *American Economic Review*, 51, 1 (March 1961):1–17.

Segerstrom, Paul S. "Endogenous Growth Without Scale Effects." *American Economic Review*, 88, 5 (December 1998):1290–1310.

Shell, Karl. "Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation." *American Economic Review*, 56 (May 1966):62–8.

Sichel, Daniel E. "The Productivity Slowdown: Is a Growing Unmeasurable Sector the Culprit?" *Review of Economics and Statistics*, 79, 3 (August 1997a):367–71.

_____. *The Computer Revolution: An Economic Perspective.* Washington, D.C.: The Brookings Institution Press, 1997b.

Siegel, Donald. "The Impact of Computers on Manufacturing Productivity Growth: A Multiple Indicators, Multiple Causes Approach." *Review of Economics and Statistics*, 79, 1 (February 1997):68–78.

Siegel, Donald, and Zvi Griliches. "Purchased Services, Outsourcing, Computers, and Productivity in Manufacturing," in *Output Measurement in the Service Sector.* Edited by Zvi Griliches Chicago: University of Chicago Press, 1992.

Solow, Robert M. "A Contribution to the Theory of Economic Growth." *Quarterly Journal of Economics*, 70, 1 (February 1956):56–94.

_____. "Technical Change and the Aggregate Production Function." *Review of Economics and Statistics*, 39, 3 (1957):313–30.

_____. "Investment and Technical Progress," in *Mathematical Methods in the Social Sciences.* Edited by Kenneth J. Arrow, Samuel Karlin, and Patrick Suppes, Stanford, Cal.: Stanford University Press, 1960.

Stiroh, Kevin J. "Computers, Productivity, and Input Substitution." *Economic Inquiry*, 36, 2 (April 1998a):175–91.

_____. "Long-Run Growth Projections and the Aggregate Production Function: A Survey of Models Used by the U.S. Government." *Contemporary Economic Policy*, 16 (October 1998b):467–79.

Temple, Jonathan, and Hans-Joachim Voth. "Human Capital, Equipment Investment, and Industrialization." *European Economic Review*, 42 (1998):1343–62.

Thomas, William D., and Joseph Kowal. "Producer Price Highlights, 1998." *Monthly Labor Review* (July 1999):3–14.

Tinbergen, Jan. "Zur Theorie def Langfristigen Wirtschaftsentwicklung." *Weltwirtschafliches Archiv*, 55, 1 (1942):511–49.

Triplett, Jack. "High-Tech Industry Productivity and Hedonic Price Indices." *OECD Proceedings: Industry Productivity, International Comparison and Measurement Issues*, 1996, pp. 119–42.

_____. "The Solow Productivity Paradox: What Do Computers Do to Productivity?" *Canadian Journal of Economics*, 32, 2 (April 1999a).

_____. "Economic Statistics, the New Economy, and the Productivity Slowdown." *Business Economics*, 34, 2 (April 1999b):13–17.

U.S. Bureau of Labor Statistics. "International Comparisons of Manufacturing Productivity and Unit Labor Cost Trends, 1997." USDL 98–393, September 25, 1998.

_____. "Productivity and Costs, Preliminary Fourth-Quarter Measures and Annual Averages, 1998." USDL 99–32, February 9, 1999a.

_____. "Multifactor Productivity Trends." USDL 99–36, February 11, 1999b.

van Ark, Bart. "Issues in Measurement and International Comparison of Productivity." *Industry Productivity: International Comparisons and Measurement Issues*, Paris: OECD, 1996, pp.19–47.

Vijverberg, Wim P.M., Chu-Ping C. Vijverberg, and Janet L. Gamble. "Public Capital and Private Productivity." *Review of Economics and Statistics*, 79, 2 (May 1997):267–78.

Whelan, Karl. "Computers, Obsolescence, and Growth." Federal Reserve Board, December 29, 1999 (manuscript).

Wolff, Edward N. "Capital Formation and Productivity Convergence Over the Long Term." *American Economic Review*, 81, 3 (June 1991):565–79.

_____. "The Productivity Slowdown: The Culprit at Last? Follow-Up on Hulten and Wolff." *American Economic Review*, 86, 5 (1996):1239–52.

Wyckoff, Andrew W. "The Impact of Computer Prices on International Comparisons of Labour Productivity." *Economics of Innovation and New Technology*, 3, 3–4 (1995):277–94.

Young, Alwyn. "The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience." *Quarterly Journal of Economics*, 110, 3 (August 1995):641–80.

_____."Growth Without Scale Effects." *Journal of Political Economy*, 106, 1 (1998a):41–63.

_____. "Alternative Estimates of Productivity Growth in the NICs: A Comment on the Findings of Chang-Tai Hsieh." NBER Working Paper No. 6657, 1998b.

INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS

INDUSTRY CANADA WORKING PAPER SERIES

No. 1 **Economic Integration in North America: Trends in Foreign Direct Investment and the Top 1,000 Firms**, Micro-Economic Policy Analysis staff including John Knubley, Marc Legault, and P. Someshwar Rao, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Canadian-Based Multinationals: An Analysis of Activities and Performance**, Micro-Economic Policy Analysis staff including P. Someshwar Rao, Marc Legault, and Ashfaq Ahmad, Industry Canada, 1994.

No. 3 **International R&D Spillovers Between Industries in Canada and the United States**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 4 **The Economic Impact of Mergers and Acquisitions on Corporations**, Gilles Mcdougall, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 5 **Steppin' Out: An Analysis of Recent Graduates into the Labour Market**, Ross Finnie, School of Public Administration, Carleton University, and Statistics Canada, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Measuring the Compliance Cost of Tax Expenditures: The Case of Research and Development Incentives**, Sally Gunz and Alan Macnaughton, University of Waterloo, and Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 7 **Governance Structure, Corporate Decision-Making and Firm Performance in North America**, P. Someshwar Rao and Clifton R. Lee-Sing, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 8 **Foreign Direct Investment and APEC Economic Integration**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao, and Colleen Barnes, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 9 **World Mandate Strategies for Canadian Subsidiaries**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 10 **R&D Productivity Growth in Canadian Communications Equipment and Manufacturing**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 11 **Long-Run Perspective on Canadian Regional Convergence**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, and Frank C. Lee, Industry Canada, 1996.

No. 12 **Implications of Technology and Imports on Employment and Wages in Canada**, Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 13 **The Development of Strategic Alliances in Canadian Industries: A Micro Analysis**, Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 14 **Employment Performance in the Knowledge-Based Economy**, Surendra Gera, Industry Canada, and Philippe Massé, Human Resources Development Canada, 1996.

No. 15 **The Knowledge-Based Economy: Shifts in Industrial Output**, Surendra Gera, Industry Canada, and Kurt Mang, Department of Finance, 1997.

No. 16 **Business Strategies of SMEs and Large Firms in Canada**, Gilles Mcdougall and David Swimmer, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 17 **Impact of China's Trade and Foreign Investment Reforms on the World Economy**, Winnie Lam, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 18 **Regional Disparities in Canada: Characterization, Trends and Lessons for Economic Policy**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Inter-Industry and U.S. R&D Spillovers, Canadian Industrial Production and Productivity Growth**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 20 **Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 21 **Capital-Embodied Technical Change and the Productivity Growth Slowdown in Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 23 **Restructuring in Canadian Industries: A Micro Analysis**, Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 24 **Canadian Government Policies Toward Inward Foreign Direct Investment**, Steven Globerman, Simon Fraser University and Western Washington University, and Daniel Shapiro, Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 25 **A Structuralist Assessment of Technology Policies – Taking Schumpeter Seriously on Policy,** Richard G. Lipsey and Kenneth Carlaw, Simon Fraser University, with a contribution by Davit D. Akman, research associate, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 26 **Intrafirm Trade of Canadian-Based Foreign Transnational Companies,** Richard A. Cameron, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 27 **Recent Jumps in Patenting Activities: Comparative Innovative Performance of Major Industrial Countries, Patterns and Explanations**, Mohammed Rafiquzzaman and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 28 **Technology and the Demand for Skills: An Industry-Level Analysis**, Surendra Gera and Wulong Gu, Industry Canada, and Zhengxi Lin, Statistics Canada, 1999.

No. 29 **The Productivity Gap Between Canadian and U.S. Firms**, Frank C. Lee and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 30 **Foreign Direct Investment and Productivity Growth: The Canadian Host-Country Experience**, Surendra Gera, Wulong Gu and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 31 **Are Canadian-Controlled Manufacturing Firms Less Productive than their Foreign-Controlled Counterparts?** Someshwar Rao and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 32 **The Canada-U.S. Productivity Growth Paradox**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 2000.

INDUSTRY CANADA DISCUSSION PAPER SERIES

No. 1 **Multinationals as Agents of Change: Setting a New Canadian Policy on Foreign Direct Investment**, Lorraine Eden, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 2 **Technological Change and International Economic Institutions**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **Canadian Corporate Governance: Policy Options**, Ronald. J. Daniels, Faculty of Law, University of Toronto, and Randall Morck, Faculty of Business, University of Alberta, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 4 **Foreign Direct Investment and Market Framework Policies: Reducing Frictions in APEC Policies on Competition and Intellectual Property**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 5 **Industry Canada's Foreign Investment Research: Messages and Policy Implications**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 6 **International Market Contestability and the New Issues at the World Trade Organization**, Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **Implications of Foreign Ownership Restrictions for the Canadian Economy – A Sectoral Analysis**, Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 8 **Determinants of Canadian Productivity Growth: Issues and Prospects**, Richard G. Harris, Simon Fraser University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 9 **Is Canada Missing the "Technology Boat"? Evidence from Patent Data**, Manuel Trajtenberg, Tel Aviv University, National Bureau of Economic Research and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 2000.

INDUSTRY CANADA OCCASIONAL PAPER SERIES

No. 1 **Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: The Country Chapters**, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald, and Christopher Wilkie, Industry Canada, 1994.

Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: Summary and Conclusions, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, and John Knubley, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Business Development Initiatives of Multinational Subsidiaries in Canada**, Julian Birkinshaw, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **The Role of R&D Consortia in Technology Development**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Carleton University, and Sunder Magun, Centre for Trade Policy and Law, University of Ottawa and Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 4 **Gender Tracking in University Programs**, Sid Gilbert, University of Guelph, and Alan Pomfret, King's College, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 5 **Competitiveness: Concepts and Measures**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Institutional Aspects of R&D Tax Incentives: The SR&ED Tax Credit**, G. Bruce Doern, School of Public Administration, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 7 **Competition Policy as a Dimension of Economic Policy: A Comparative Perspective**, Robert D. Anderson and S. Dev Khosla, Economics and International Affairs Branch, Bureau of Competition Policy, Industry Canada, 1995.

No. 8 **Mechanisms and Practices for the Assessment of the Social and Cultural Implications of Science and Technology**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 9 **Science and Technology: Perspectives for Public Policy**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 10 **Endogenous Innovation and Growth: Implications for Canada**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal and Canadian Institute for Advanced Research, and Elhanan Helpman, Tel Aviv University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 11 **The University-Industry Relationship in Science and Technology**, Jérôme Doutriaux, University of Ottawa, and Margaret Barker, Meg Barker Consulting, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 12 **Technology and the Economy: A Review of Some Critical Relationships**, Michael Gibbons, University of Sussex, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 13 **Management Skills Development in Canada**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 14 **The Human Factor in Firm's Performance: Management Strategies for Productivity and Competitiveness in the Knowledge-Based Economy**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 15 **Payroll Taxation and Employment: A Literature Survey**, Joni Baran, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 16 **Sustainable Development: Concepts, Measures, Market and Policy Failures at the Open Economy, Industry and Firm Levels**, Philippe Crabbé, Institute for Research on the Environment and Economy, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 17 **Measuring Sustainable Development: A Review of Current Practice**, Peter Hardi and Stephan Barg, with Tony Hodge and Laszlo Pinter, International Institute for Sustainable Development, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 18 **Reducing Regulatory Barriers to Trade: Lessons for Canada from the European Experience**, Ramesh Chaitoo and Michael Hart, Centre for Trade Policy and Law, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Analysis of International Trade Dispute Settlement Mechanisms and Implications for Canada's Agreement on Internal Trade**, E. Wayne Clendenning and Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., under contract with Industry Canada, 1997.

No. 20 **Aboriginal Businesses: Characteristics and Strategies for Growth**, David Caldwell and Pamela Hunt, Management Consulting Centre, under contract with Aboriginal Business Canada, Industry Canada, 1998.

No. 21 **University Research and the Commercialization of Intellectual Property in Canada,** Wulong Gu and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 22 **A Regional Perspective on the Canada-U.S. Standard of Living Comparison,** Raynald Létourneau and Martine Lajoie, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 23 **Linkages Between Technological Change and Productivity Growth**, Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 24 **Investment and Productivity Growth – A Survey From the Neoclassical and New Growth Perspectives**, Kevin J. Stiroh, Federal Reserve Bank of New York, under contract with Industry Canada, 2000.

CANADA IN THE 21ST CENTURY SERIES

No. 1 **Global Trends: 1980-2015 and Beyond**, J. Bradford DeLong, University of California, Berkeley, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 2 **Broad Liberalization Based on Fundamentals: A Framework for Canadian Commercial Policy**, Randy Wigle, Wilfrid Laurier University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 3 **North American Economic Integration: 25 Years Backward and Forward**, Gary C. Hufbauer and Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 4 **Demographic Trends in Canada, 1996-2006: Implications for the Public and Private Sectors**, David K. Foot, Richard A. Loreto, and Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 5 **Capital Investment Challenges in Canada**, Ronald P.M. Giammarino, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 6 **Looking to the 21st Century – Infrastructure Investments for Economic Growth and for the Welfare and Well-Being of Canadians**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, and Stéphanie Barker, Université de Montréal, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **The Implications of Technological Change for Human Resource Policy**, Julian R. Betts, University of California, San Diego, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 8 **Economics and the Environment: The Recent Canadian Experience and Prospects for the Future**, Brian R. Copeland, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 9 **Individual Responses to Changes in the Canadian Labour Market**, Paul Beaudry and David A. Green, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 10 **The Corporate Response – Innovation in the Information Age**, Randall Morck, University of Alberta, and Bernard Yeung, University of Michigan, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 11 **Institutions and Growth: Framework Policy as a Tool of Competitive Advantage for Canada**, Ronald J. Daniels, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1998.

PERSPECTIVES ON NORTH AMERICAN FREE TRADE SERIES

No. 1 **Can Small-Country Manufacturing Survive Trade Liberalization? Evidence from the Canada-U.S. Free Trade Agreement**, Keith Head and John Ries, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 2 **Modelling Links Between Canadian Trade and Foreign Direct Investment,** Walid Hejazi and A. Edward Safarian, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 3 **Trade Liberalisation and the Migration of Skilled Workers,** Steven Globerman, Western Washington University and Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 4 **The Changing Industry and Skill Mix of Canada's International Trade**, Peter Dungan and Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 5 **Effects of the Canada-United States Free Trade Agreement on Interprovincial Trade**, John F. Helliwell, University of British Columbia, Frank C. Lee, Industry Canada, and Hans Messinger, Statistics Canada, 1999.

No. 6 **The Long and Short of the Canada-U.S. Free Trade Agreement,** Daniel Trefler, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

JOINT PUBLICATIONS

Capital Budgeting in the Public Sector, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

Infrastructure and Competitiveness, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada, in collaboration with the C.D. Howe Institute, Jamie Benidickson, G. Bruce Doern, and Nancy Olewiler, 1994.

To obtain copies of documents published under Industry Canada's Research Publications Program, please contact:

Publications Officer
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario, K1A 0H5

Tel.: (613) 952-5704
Fax: (613) 991-1261
E-mail: mepa.apme@ic.gc.ca

Programme des publications
de recherche d'Industrie Canada

INVESTISSEMENT ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ – ÉTUDE INSPIRÉE DE LA THÉORIE NÉOCLASSIQUE ET DE LA NOUVELLE THÉORIE DE LA CROISSANCE

Document hors série n° 24
Juin 2000

Programme des publications de recherche d'Industrie Canada

Le Programme des publications de recherche d'Industrie Canada fournit une tribune pour l'analyse des grands défis micro-économiques auxquels est confrontée l'économie canadienne et favorise un débat public éclairé sur les grandes questions d'actualité. Sous l'égide de la Direction générale de l'analyse de la politique micro-économique, la collection des documents de recherche, qui s'inscrit dans le cadre de ce programme, englobe des documents de travail analytiques révisés par des pairs et des documents de discussion rédigés par des spécialistes traitant de questions micro-économiques d'importance primordiale.

Les opinions exprimées dans ces documents de recherche ne reflètent pas nécessairement celles d'Industrie Canada ou du gouvernement fédéral.

Programme des publications
de recherche d'Industrie Canada

INVESTISSEMENT ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ – ÉTUDE INSPIRÉE DE LA THÉORIE NÉOCLASSIQUE ET DE LA NOUVELLE THÉORIE DE LA CROISSANCE

Par Kevin J. Stiroh
Federal Reserve Bank of New York

Document hors série nº 24
Juin 2000

Also available in English

Données de catalogage avant publication (Canada)

Stiroh, Kevin J.

Investissement et croissance de la productivité : étude inspirée de la théorie néoclassique et de la nouvelle théorie de la croissance

(Document hors série; n° 24)
Texte en anglais et en français disposé tête-bêche.
Titre de la p. de t. addit.: Investment and productivity growth.
Comprend des références bibliographiques.
Publié aussi comme monographie électronique en version .pdf sur le site Web d'Industrie Canada.
ISBN 0-662-64815-3
N° de cat. C21-23/24-2000

1. Investissements.
2. Capital – productivité.
3. Productivité.
I. Canada. Industrie Canada.
II. Titre.
III. Titre : Investment and productivity growth.
IV. Coll. : Document hors série (Canada. Industrie Canada).

HC79.S75 2000 332.6 C00-980126-XF

Vous trouverez, à la fin du présent ouvrage, des renseignements sur les documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche et sur la façon d'en obtenir des exemplaires. Des sommaires des documents et cahiers de recherche publiés dans les diverses collections d'Industrie Canada, ainsi que le texte intégral de notre bulletin trimestriel, *MICRO*, peuvent être consultés sur *STRATEGIS*, le service d'information commerciale en direct du Ministère, à l'adresse http://strategis.gc.ca.

Prière d'adresser tout commentaire à :

Someshwar Rao
Directeur
Analyse des investissements stratégiques
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 941-8187; téléc. : (613) 991-1261; courriel : rao.someshwar@ic.gc.ca

REMERCIEMENTS

Cette étude a été rédigée pour le compte d'Industrie Canada alors que l'auteur était membre du Programme de recherche sur la technologie et la politique économique, de l'Université Harvard, à Cambridge (MA). L'auteur tient à remercier Mun Ho, Dale Jorgenson, Frank Lee, Lauren Stiroh et un lecteur-arbitre anonyme pour les commentaires utiles qu'ils ont formulés sur une version antérieure de l'étude, ainsi que Mike Fort pour son excellent travail d'aide à la recherche, et Industrie Canada pour son soutien financier. L'auteur est seul responsable des opinions exprimées dans cette étude, lesquelles ne reflètent pas nécessairement les opinions de la Federal Reserve Bank of New York ou du Federal Reserve System.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ ..... *i*

1. INTRODUCTION 1

2.. InvestISSEment, ProductivitÉ ET CROISSANCE 5
- Le modèle néoclassique 6
- Extension de la notion d'investissement 8
  - Biens matériels hétérogènes 8
  - Capital humain 11
  - Recherche-développement 12
  - Infrastructure publique 14
- Une réserve importante 16
- La nouvelle théorie de la croissance 16

3. QUESTIONS D'ACTUALITÉ ET RÉSULTATS 21
- Comparaisons internationales 21
- Retombées des investissements en matériel 27
- Retombées des investissements en R-D 29
- Le paradoxe de la productivité de l'informatique 33
- Questions liées au facteur travail 39
- Reprise de la « controverse de l'intégration » 42
- Données sur l'investissement et la productivité au niveau de l'établissement 44
- Les déterminants de l'investissement 45

4. CONCLUSIONS ET RECHERCHES FUTURES 47

NOTES 51

BIBLIOGRAPHIE 55

PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA 71

RÉSUMÉ

La présente étude fait un tour d'horizon des travaux publiés sur l'investissement et la productivité, dans le contexte du débat opposant la théorie néoclassique et la nouvelle théorie de la croissance. Dans ces deux écoles de pensée, l'investissement, défini largement de manière à englober les achats de biens matériels, les dépenses en capital humain, les efforts de recherche-développement, etc., est considéré comme la source fondamentale de l'amélioration de la productivité et de la croissance économique, mais les deux théories divergent sur la nature exacte du mécanisme de transmission. Ce qui est plus important, le modèle néoclassique met l'accent sur les rendements internes pour les investisseurs qui touchent les avantages découlant des nouveaux investissements, tandis que les modèles issus de la nouvelle théorie de la croissance insistent sur les effets externes associés aux retombées des gains de productivité dans d'autres secteurs. Cette dichotomie fondamentale est à l'origine de divergences de vues sur le rôle de l'investissement en tant que source de croissance, des politiques normatives et de leurs conséquences pour l'augmentation de la productivité et du niveau de vie à long terme. L'étude passe ensuite en revue certaines questions empiriques et conceptuelles liées à l'investissement et à la productivité, en décrivant des pistes de recherche pour l'avenir.

1. INTRODUCTION

Les économistes ont reconnu depuis longtemps que l'investissement est une importante source de productivité et de croissance économique. En mettant à la disposition des travailleurs davantage de capital et en améliorant du même coup la productivité de la main-d'œuvre, l'investissement matériel contribue à accroître la production et à hausser le niveau de vie. L'importance fondamentale de l'investissement a suscité une quantité impressionnante de travaux de recherche – théoriques et empiriques – où l'on a exploré le lien existant entre l'investissement, la productivité et la croissance économique.

La présente étude vise à faire un tour d'horizon des travaux récents consacrés au lien entre l'investissement et la productivité, lequel dépend fondamentalement de notre interprétation du processus de croissance économique. Les travaux précurseurs de Ramsey, Harrod, Domar, Solow et d'autres ont jeté les bases d'un cadre d'analyse centré sur l'investissement privé en biens matériels et l'accumulation concomitante de capital matériel dans un modèle néoclassique. Les contributions plus récentes ont pris le modèle néoclassique comme point de départ pour pousser l'analyse de façons qui ont modifié irrévocablement notre perception de l'importance de l'investissement comme source de productivité.

Une innovation importante a été le prolongement des notions d'investissement et de capital par Aschauer, Becker, Griliches, Jorgenson, Mincer, Schultz et d'autres au-delà de l'investissement privé en biens matériels pour englober la substitution (opérée par l'investissement) entre des biens hétérogènes, l'accumulation du capital humain, les dépenses de recherche-développement et l'investissement en infrastructure publique. Tout en privilégiant une vision plus large de l'investissement, ce courant de la recherche a habituellement respecté la tradition néoclassique, dans laquelle les avantages de l'investissement se manifestent à l'interne sous la forme d'une productivité accrue ou de salaires plus élevés. Une deuxième innovation fondamentale a été l'abandon du modèle néoclassique en vue d'explorer d'autres sentiers de productivité, dans le contexte de la « nouvelle théorie de la croissance » élaborée par Arrow, Grossman, Helpman, Lucas, Romer et d'autres. Cette vision attache plus d'importance à certaines formes d'investissement qui comportent des externalités et engendrent un effet de productivité supplémentaire grâce à des retombées au niveau de la production ou à la diffusion connexe de la technologie.

Dans la première partie de l'étude, nous esquissons le rôle de l'investissement en tant que déterminant de la productivité dans ces deux modèles. L'un et l'autre bénéficient de solides appuis, mais les données semblent indiquer que le modèle néoclassique traditionnel, axé sur l'accumulation des intrants et les rendements internes, fournit encore la meilleure explication de l'amélioration de la productivité du travail. À titre d'exemple, la robuste performance des nouvelles économies industrialisées d'Asie est principalement attribuable à l'accumulation rapide du capital matériel et humain, alors que le progrès technologique semble avoir joué un rôle relativement restreint. De même, la substitution massive au profit des biens en capital de haute technologie améliore la productivité relative des entreprises et des industries en mesure d'investir et de restructurer leurs activités, mais il y a peu d'indices d'une propagation des gains de productivité à d'autres secteurs.

Cependant, l'explication ne s'arrête pas à l'investissement et à l'accumulation des intrants. Un modèle néoclassique complet, tenant compte de la qualité, laisse inexpliqué environ le cinquième de la croissance économique enregistrée aux États-Unis durant la période d'après-guerre. Cela indique clairement le besoin de faire intervenir le progrès technologique et d'autres sources de productivité, et la nouvelle théorie de la croissance peut contribuer à compléter le tableau. Ainsi, les deux modèles peuvent être vus comme complémentaires plutôt que rivaux : l'accumulation néoclassique des intrants expliquerait la majorité de la croissance, tandis que la nouvelle théorie de la croissance fournirait la base conceptuelle permettant d'expliquer la part de la croissance de la productivité qui sort du cadre néoclassique.

La seconde partie de l'étude fait un large tour d'horizon des questions d'actualité entourant l'investissement et la productivité. Parmi les sujets abordés, il y a les données internationales sur les retombées des investissements en matériel, les retombées possibles de la recherche-développement, le « paradoxe de la productivité de l'informatique », l'impact de l'investissement sur le marché du travail, la reprise de la controverse sur l'intégration du progrès technologique, et les preuves microéconomiques récentes tirées des grandes bases de données longitudinales. En décrivant certaines des conséquences les plus importantes de la recherche actuelle sur le plan des politiques et en résumant les questions pertinentes qui demeurent toujours sans réponse, cette partie de l'étude met en relief quelques pistes de recherche future sur le lien existant entre l'investissement et la productivité.

Voici comment se présente le document. Au chapitre 2, nous décrivons brièvement le rôle traditionnel de l'investissement dans le modèle de croissance néoclassique, y compris les notions plus générales de l'investissement et du capital, pour ensuite contraster ce modèle avec les nouveaux modèles de croissance endogène. Au chapitre 3, nous examinons les questions d'actualité portant sur l'investissement et la productivité. Au chapitre 4, nous présentons nos conclusions en décrivant les sujets qui semblent présenter les meilleures perspectives pour la recherche future.

2. INVESTISSEMENT, PRODUCTIVITÉ ET CROISSANCE

La théorie de la croissance économique a récemment connu un regain d'intérêt, alors que la théorie classique et les contributions plus récentes ont servi de point de départ à une analyse de l'investissement et de la productivité. Cependant, les travaux de recherche sur la croissance ont récemment bifurqué et l'on retrouve maintenant les partisans du modèle de croissance néoclassique et les tenants d'une vision nouvelle, alternative de la croissance[1]. Même si l'investissement joue un rôle clé dans l'un et l'autre modèle, leurs différences conceptuelles engendrent des visions opposées de la relation investissement-productivité.

Les économistes considèrent souvent l'investissement comme étant l'achat de biens matériels qui contribuent à la production actuelle et future à mesure que le capital s'accumule. De fait, cette notion était déjà présente dans les premiers travaux analytiques de Cobb et Douglas (1928), de Tinbergen (1942), de Solow (1956, 1957) et d'autres qui ont été parmi les premiers à utiliser une « fonction de production agrégée » pour décrire la relation existant entre la production d'une économie et les intrants primaires, c'est-à-dire le capital matériel et le travail. Cependant, cette perspective s'est progressivement modifiée et Mankiw (1995) a constaté un consensus croissant sur la nécessité de donner une interprétation plus large au rôle du capital dans la croissance économique (p. 308). Si l'on donne au capital une interprétation étendue, l'investissement doit alors lui-même être défini de façon plus large, en y incluant l'achat de tout élément d'actif ou service qui engendre des rendements futurs au niveau de la production. Jorgenson (1996) a résumé ce point de vue par une définition concise :

> L'investissement est l'engagement de ressources actuelles dans l'attente de rendements futurs et peut prendre une multitude de formes [...] la caractéristique distinctive de l'investissement en tant que source de croissance économique est que ces rendements peuvent être internalisés par l'investisseur. (p. 57)

Cette définition plus générale englobe l'investissement en biens matériels, ainsi que l'éducation, la formation, les autres formes d'accumulation du capital humain et la recherche-développement, parce que l'entreprise ou le travailleur s'adonne à ces activités dans l'objectif spécifique d'accroître ses avantages futurs, lesquels contribuent éventuellement à la production, à la productivité et à la croissance. À titre de préambule à l'analyse qui suit, la notion selon laquelle l'investissement, défini au sens large, engendre principalement des rendements internes, est l'un des fondements du modèle

néoclassique de l'investissement, de la productivité et de la croissance qui distinguent celui-ci de la nouvelle théorie de la croissance.

Le modèle néoclassique

Le modèle de croissance néoclassique standard est bien connu et ne sera examiné ici que brièvement. Les travaux précurseurs de Solow (1956, 1957) ont formalisé le modèle néoclassique; ils intègrent la fonction de production agrégée à des données sur le revenu national et forment la base d'une bonne partie de l'analyse empirique de la croissance. Dans ce cadre, le rôle de l'investissement peut se résumer à l'aide de deux équations familières. La relation entre la production, Y, et les facteurs capital, K, travail, L, et technologie « neutre par rapport à Hicks »[2], A, peut être décrite à l'aide d'une fonction de production agrégée :

$$(1) \qquad Y = A^{*}f(K,L),$$

et l'équation d'accumulation du capital, qui régit la relation entre l'investissement en biens matériels, I, et le stock de capital, est la relation d'inventaire perpétuel bien connue :

$$(2) \qquad \Delta K_t = I_t - K_{t-1}{}^{*}\delta,$$

où Δ représente un changement discret, δ est la dépréciation et I_t peut soit être déterminé de façon endogène par l'entreprise qui cherche à maximiser ses bénéfices soit être fixé par hypothèse à une proportion donnée de la production, disons sY_t. La question de savoir si la fonction de production devrait englober une mesure du stock de capital, telle que décrite par l'équation (2), ou une mesure du flux des services du capital est examinée ci-après.

En vertu des hypothèses néoclassiques de marchés des facteurs concurrentiels et de rendements d'échelle constants où tous les intrants sont rémunérés à leur produit marginal, la décomposition standard de la comptabilité de la croissance met en relation la croissance de la production aux taux de croissance des intrants primaires, pondérés selon leur part respective, et à la productivité totale des facteurs, c'est-à-dire le fameux « résidu de Solow », $\Delta \ln A$,

$$(3) \qquad \Delta \ln Y = v_K \Delta \ln K + v_L \Delta \ln L + \Delta \ln A,$$

où v_K est la part du revenu national représentée par le capital, v_L est la part du revenu national représentée par le travail et où les hypothèses néoclassiques supposent que $v_K + v_L = 1$.

Les équations (2) et (3) montrent le lien direct qui existe entre l'investissement en biens matériels et la croissance économique à mesure que l'accumulation du capital contribue à la croissance en proportion de la part du capital dans le revenu national. On peut ensuite dériver la relation néoclassique entre l'investissement et la croissance de la productivité du travail, définie comme étant la production par heure travaillée, en transformant l'équation (3) :

$$(4) \qquad \Delta \ln y = v_K \Delta \ln k + v_L (\Delta \ln L - \Delta \ln H) + \Delta \ln A,$$

où les lettres en minuscule sont les valeurs exprimées par heure de travail. La croissance de la productivité moyenne du travail (PMT), donnée par $\Delta \ln y$, dépend directement du taux d'accumulation du capital par heure de travail (accroissement du coefficient de capital), $\Delta \ln k$, de la croissance de la qualité de la main-d'œuvre, mesurée par la différence entre la croissance du facteur travail et la croissance du nombre d'heures de travail, $(\Delta \ln L - \Delta \ln H)$, et de la croissance de la productivité totale des facteurs (PTF), $\Delta \ln A$[3].

La simplicité intuitive de ce cadre néoclassique en a fait littéralement l'épine dorsale des travaux empiriques et théoriques sur la productivité et la croissance économique[4]. Cependant, en dépit de sa popularité, le modèle néoclassique engendre certains résultats troublants. Premièrement, la croissance de la PTF est entièrement exogène au modèle, c'est-à-dire que la technologie est habituellement décrite par une quelconque fonction *ad hoc*, telle que $A_t = A_0 e^{gt}$, où g est un paramètre non expliqué de l'économie. Puisque l'accumulation du capital est assujettie à des rendements décroissants, il ne peut y avoir de croissance stable du revenu par habitant en l'absence de progrès technique exogène. En outre, même si la croissance de la PTF demeure entièrement inexpliquée, les premiers travaux empiriques ont montré qu'elle était la principale source de croissance du revenu par habitant et de la productivité du travail. De fait, à l'origine, Solow (1957) attribuait près de 90 p. 100 de la croissance de la production par habitant aux États-Unis au progrès technique exogène, ce qui a laissé de nombreux économistes sur leur appétit. Enfin, les données internationales ne semblent pas corroborer le modèle néoclassique de base en ce qui a trait aux parts du capital et aux propriétés de convergence[5].

Ces lacunes ont donné l'impulsion à plusieurs pistes de recherche subséquentes sur la relation entre l'investissement et la croissance de la productivité. Une école de pensée, qui remonte à Jorgenson et Griliches (1967) et dont les travaux ont été résumés par Jorgenson (1990, 1996), demeure fermement ancrée dans la tradition néoclassique et a tenté de mettre au point de meilleures mesures de l'investissement, du capital, du travail et d'autres intrants négligés en vue de réduire l'importance du résidu inexpliqué. Autrement dit, si tous les intrants sont correctement mesurés, le progrès technique exogène sera une source de croissance moins importante. Une deuxième école de pensée est allée au-delà du modèle néoclassique pour tenter d'élaborer un mécanisme endogène tenant compte de l'évolution du progrès technique, demeuré inexpliqué dans les travaux antérieurs. En modélisant explicitement les rouages de la concurrence, de l'innovation et des retombées de la production, ces travaux de recherche ont abouti aux modèles de croissance endogène de la nouvelle théorie de la croissance.

Extension de la notion d'investissement

Le modèle néoclassique décrit ci-dessus peut facilement être étendu au-delà de l'investissement en biens matériels pour rendre compte de tout facteur accumulé contribuant à la production. Cela englobe la substitution qu'opère l'investissement entre des biens matériels hétérogènes, l'investissement en capital humain lié à l'éducation et à la formation des travailleurs, l'effort de recherche-développement et les dépenses publiques en infrastructure.

Biens matériels hétérogènes

Dans le contexte de l'équation (1), K devrait mesurer le flux des services du facteur capital, ce qui englobe les services provenant de nombreux biens hétérogènes, allant des structures ayant une longue vie utile au matériel de courte durée. En reconnaissant que les biens matériels ont des prix d'acquisition, des durées utiles, des taux de dépréciation, des traitements fiscaux et, en définitive, des produits marginaux différents, Jorgenson et Griliches (1967) ont formellement intégré la notion d'hétérogénéité des intrants en créant des indices à qualité constante pour les facteurs capital et travail. Solow (1957) a utilisé à l'origine une mesure plus simple du stock de capital agrégé, comme dans l'équation (2)[6].

Un indice du capital à qualité constante est calculé en se servant du « coût du bien en capital pour l'usager », de préférence au prix d'acquisition,

pour agréger des stocks de capital hétérogènes. En accordant à chaque bien une pondération correspondant à son coût d'utilisation, qui est égal au produit marginal à l'équilibre, l'indice du facteur capital tient compte des différences importantes dans la contribution productive d'investissements hétérogènes à mesure que change la composition de l'investissement et du capital. Il est à noter que le changement de « qualité » dans ce contexte représente les changements qui surviennent dans la composition des biens et non une productivité supérieure liée à un bien en particulier. Les changements qualitatifs de ce genre, par exemple la meilleure performance des ordinateurs récents, sont pris en compte par le déflateur de l'investissement et sont examinés plus loin à la section traitant du paradoxe de la productivité de l'informatique.

Tel que dérivé dans Hall et Jorgenson (1967) et élaboré dans Jorgenson et Yun (1991), le coût du capital pour l'usager, $P_{k,t}$, est le coût annualisé de l'utilisation d'un élément de capital durant une période, soit de *t-1* à *t*, ce qui équivaut au coût d'opportunité de l'achat du bien plus la dépréciation de ce bien moins tout gain en capital, rajusté dans tous les cas pour tenir compte des considérations fiscales. Le coût pour l'usager peut être calculé à l'aide d'une équation de prix des services du capital :

$$(5) \qquad P_{k,t} = \frac{1 - ITC - Z\tau}{1 - \tau} \cdot (i \cdot P_{a,t-1} + \delta \cdot P_{a,t} - \pi_t \cdot P_{a,t-1}),$$

où *ITC* est le crédit d'impôt à l'investissement, Z est la valeur actuelle escomptée de l'amortissement, τ est le taux d'imposition statutaire, i est le taux de rendement nominal, $P_{a,t}$ est le prix d'acquisition du capital ou de l'investissement, δ est le taux de dépréciation géométrique et π_t est le taux de réévaluation des prix des biens, pour chaque bien individuel.

Jorgenson et Stiroh (2000) examinent 57 types de biens d'investissement privés en s'intéressant à la substitution massive vers le matériel informatique par suite de la chute du prix d'acquisition et du produit marginal élevé de ces biens. Brown et Hellerstein (1997) étudient les profils d'investissement en biens matériels aux États-Unis entre 1960 et 1996 et arrivent à la conclusion que les changements de prix relatifs, notamment pour les investissements en technologie de l'information, ont dominé l'investissement réel du secteur commercial en proportion du PIB pour atteindre leur plus haut niveau en 40 ans.

Jorgenson et Stiroh (1995, 1999, 2000) appliquent cette méthodologie des services du capital à l'économie américaine et arrivent à la conclusion que l'investissement en biens matériels a été la principale source de croissance durant la période d'après-guerre. Les résultats présentés au tableau 1, tirés de Jorgenson et Stiroh (2000), montrent que la production a augmenté à un taux annuel de 3,6 p. 100 entre 1959 et 1998; les intrants liés au capital, y compris les biens de consommation durables, sont à l'origine de 48 p. 100 de la croissance totale, tandis que les intrants liés au travail expliquent 34 p. 100 de la croissance et la PTF résiduelle, la dernière tranche de 18 p. 100. Gordon (1999) présente une perspective historique plus longue en remontant à 1870; il compare diverses mesures des facteurs pour l'économie américaine et arrive à la conclusion que les rajustements qualitatifs des comptes des facteurs travail et capital ont été des sources importantes de croissance à long terme. Ainsi, pour estimer correctement la contribution du capital à la croissance, il faut employer une notion des services du capital et tenir compte de la substitution entre des biens hétérogènes.

Tableau 1
Sources de la croissance économique aux États-Unis et rôle de l'ordinateur, 1959-1998

	1959-1973	1973-1990	1990-1998
Croissance de la production	4,32	3,13	3,44
Contribution du facteur capital (K)	1,41	1,15	1,07
Matériel autre qu'ordinateurs et logiciels (K_n)	1,31	0,92	0,68
Ordinateurs et logiciels (K_c)	0,10	0,24	0,39
Contribution des services des biens de consommation durables (D)	0,62	0,47	0,35
Matériel autre qu'ordinateurs et logiciels(D_n)	0,62	0,45	0,25
Ordinateurs et logiciels (D_c)	0,00	0,02	0,10
Contribution du facteur travail (L)	1,25	1,17	1,32
Productivité totale agrégée des facteurs	1,05	0,34	0,70

La contribution des facteurs correspond à leur taux de croissance réelle pondéré par la valeur de la part nominale moyenne.
Toutes les valeurs sont des pourcentages annuels moyens.
Source : Jorgenson et Stiroh (2000).

Capital humain

Les économistes ont reconnu l'importance des investissements consacrés aux êtres humains depuis au moins les travaux précurseurs de Mincer (1958, 1974), Shultz (1961) et Becker (1962)[7]. Les dépenses consacrées à l'éducation, à la formation professionnelle, à la migration des travailleurs et aux soins de santé contribuent à accroître la qualité de la main-d'œuvre et à hausser la productivité; elles sont considérées à juste titre comme des investissements. Dès 1961, les similitudes entre les investissements en biens matériels et en capital humain, par exemple au niveau des stimulants fiscaux, de l'amortissement et des imperfections du mécanisme de prix, et les avantages principalement internes des investissements en capital humain ont été étudiés par Schultz (1961, p. 13-15). Dans des analyses plus récentes, Heckman, Lochner et Taber (1998) et Lord et Rangazas (1998) ont examiné l'impact de la politique fiscale sur l'investissement en compétences et en capital humain.

Jorgenson et Griliches (1967) ont formellement intégré des intrants en main-d'œuvre hétérogènes dans une analyse de la croissance globale en pondérant le nombre d'heures travaillées par les salaires relatifs afin de tenir compte des différences au niveau du capital humain et de la productivité. Comme pour la mesure du capital, cette approche tient compte de la substitution entre différents types de main-d'œuvre et produit un indice du facteur travail à qualité constante qui convient à l'analyse axée sur la fonction de production de l'équation (1). L'accumulation du capital humain est une importante source de croissance que l'on retrouve aujourd'hui couramment dans les analyses de la croissance. Ainsi, selon le U.S. Bureau of Labor Statistics (1999b), le tiers de la croissance de la productivité du travail non agricole aux États-Unis entre 1990 et 1997 est attribuable aux changements dans la composition de la main-d'œuvre, c'est-à-dire à l'amélioration de la qualité du facteur travail.

Dans une étude importante qui appuie le modèle néoclassique général, Mankiw, Romer et Weil (1992) ont formellement inclus l'investissement en capital humain dans un modèle de croissance enrichi de Solow. Utilisant une spécification Cobb-Douglas pour la production globale, ils ont explicitement modélisé le capital humain comme déterminant de la production, sous la forme suivante :

$$(6) \qquad Y = K^{\alpha} H^{\beta} (AL)^{1-\alpha-\beta},$$

où *H* est le stock de capital humain et *A* est le changement technique enrichissant le facteur travail.

Mankiw, Romer et Weil (1992) emploient une mesure de la scolarisation comme approximation de l'accumulation du capital humain et constatent que le modèle cadre bien avec les données pour ce qui est des prédictions sur la convergence de la croissance et des estimations des élasticités de la production. Ils concluent aussi que le modèle enrichi de Solow concorde avec les données internationales[8]. Plus récemment, Hall et Jones (1999) ont utilisé un modèle semblable pour comparer les niveaux de production d'une gamme étendue de pays et ont constaté que les différences au niveau du capital humain expliquaient une partie, mais non la totalité, de la variation importante du niveau de production par habitant. Ho et Jorgenson (1999) ont simulé l'impact d'un investissement plus élevé en éducation sur la performance économique aux États-Unis.

Dans une perspective microéconomique, Black et Lynch (1996) constatent que le capital humain est un déterminant important de la variation transversale de la productivité au niveau des établissements; ainsi, une hausse de 10 p. 100 du niveau moyen de scolarité entraîne une augmentation de 8,5 p. 100 de la productivité manufacturière et une augmentation de 12,7 p. 100 de la productivité non manufacturière. Cette étude confirme encore une fois la vision néoclassique selon laquelle l'investissement en capital humain profite à l'agent économique qui fait l'investissement.

Recherche-développement

Une seconde forme d'investissement qui peut être intégrée au modèle néoclassique est l'investissement en recherche-développement (R-D), défini généralement comme les dépenses consacrées aux nouvelles connaissances qui améliorent le processus de production. L'impact de la R-D sur la croissance a reçu beaucoup d'attention, notamment dans le contexte des retombées, mais l'incidence d'un investissement en R-D est principalement de nature interne (Griliches 1973, 1979). Aghion et Howitt (1998), qui ont fait une contribution importante à la nouvelle théorie de la croissance, reconnaissent ce fait lorsqu'ils affirment que la connaissance technologique est, en soi, une forme de bien en capital [...] qui peut être accumulée grâce à la R-D (p. 26). Étant donné que les entreprises font présumément des investissements en R-D pour améliorer leur propre processus de production et hausser leurs bénéfices, de nombreux modèles de croissance endogène traitent

explicitement les effets liés aux retombées comme des conséquences involontaires et secondaires. C'est précisément cette distinction entre les avantages internes et externes qui délimite le rôle de la R-D dans la théorie néoclassique et la nouvelle théorie de la croissance.

Bien qu'il soit conceptuellement simple de traiter la R-D comme un facteur de production néoclassique, de sérieuses difficultés pratiques viennent compliquer l'estimation de la contribution de la R-D. Griliches (1995), Hall (1996) et Jorgenson (1996) ont tous souligné la difficulté de mesurer la contribution de la R-D à la croissance en raison des épineux problèmes de mesure qui se posent et du manque de données adéquates. Hall (1996) note que la R-D est souvent associée à l'amélioration des produits et que la mesure de l'impact de la R-D dépend fondamentalement de la façon dont les déflateurs de prix sont construits et de la façon dont la production est elle-même déflatée. À titre d'exemple concret, Griliches (1994) montre que le fait d'inclure dans une analyse transversale l'industrie de l'informatique aux États-Unis, pour laquelle il existe un déflateur de prix rajusté en fonction de la qualité, a un impact énorme sur l'estimation du taux de rendement brut de la R-D. En outre, il faut estimer un taux de dépréciation approprié pour calculer le stock productif de capital de R-D.

En dépit de ces problèmes, de nombreuses études ont tenté de mesurer l'incidence de la R-D[9]. Griliches (1995) présente un modèle « élémentaire » de la R-D qui constitue un prolongement direct de l'équation (1) :

$$(7) \qquad \ln Y = \alpha(t) + \beta \ln X + \gamma \ln R + u,$$

où X est un vecteur des facteurs habituels, c'est-à-dire le capital et le travail, et R est une mesure de l'effort de recherche cumulatif[10]. On pourrait aussi exprimer l'équation (7) sous forme de taux de croissance.

Un consensus est apparu autour du fait que le capital de R-D contribue sensiblement à la variation transversale de la productivité : Hall (1996) fait état d'une élasticité variant entre 0,10 et 0,15 à l'aide de données allant jusqu'à 1977, tandis que Griliches (1995) situe l'estimation de l'élasticité de la production par rapport au capital de R-D entre 0,06 et 0,10. Il importe de noter, toutefois, que l'équation (7) dépeint la relation entre la productivité d'une entreprise ou d'une industrie et son *propre* stock de R-D. L'incidence des retombées de la R-D est examinée plus loin.

Infrastructure publique

La vision néoclassique décrite précédemment met l'accent sur l'investissement privé d'entreprises et de particuliers au comportement optimal comme principale source de croissance. Dans une série d'études controversées mais pénétrantes, Aschauer (1989a, 1989b et 1990) soutient que l'infrastructure de base est une importante source de croissance de la productivité et que le ralentissement de la productivité survenu après 1973 peut être attribué en grande partie au ralentissement observé dans les investissements publics. Ces affirmations ont déclenché un vaste débat sur les conséquences d'une telle hypothèse au plan des politiques et ont fait ressortir des questions économétriques importantes, notamment les biais pouvant découler de tendances communes, l'omission de variables et une causalité inverse[11]. Dans sa spécification canonique, Aschauer (1989a) a ajouté un flux de services productifs du capital gouvernemental, *G*, au modèle néoclassique :

$$(8) \qquad Y = A^{*}f(K,L,G).$$

Il est arrivé à la conclusion que l'infrastructure de base constituée des rues, des routes, des aéroports, des systèmes de transport en commun, des réseaux d'égout et d'aqueduc, etc. avait le plus grand pouvoir explicatif de la productivité (p. 177).

Même en faisant abstraction des critiques économétriques et méthodologiques, cela ne signifie pas que l'on peut facilement améliorer la productivité et la croissance dans l'économie par des investissements publics. Aschauer (1989b) soulève la question du déplacement de l'investissement privé par l'investissement public; ainsi, Nazmi et Ramirez (1997) ont constaté, dans une étude empirique, un fort effet de déplacement dans le cas du Mexique. En outre, les estimations empiriques de l'incidence des investissements d'infrastructure sur la productivité ne sont pas concluantes.

Morrison et Schwartz (1996) observent une incidence significative de l'infrastructure sur la productivité parmi les États américains, mais ils présentent aussi des données qui indiquent que le rendement net, après avoir tenu compte du coût social de l'investissement en infrastructure, pourrait se situer près de zéro. Vijverberg, Vijverberg et Gamble (1997) ont comparé trois approches économétriques – une fonction de production, une fonction de coût et une fonction de bénéfices – qui sont toutes basées sur une fonction de production enrichie semblable à l'équation (8). Ils font état d'une variation

importante des résultats entre les divers modèles et spécifications. Ils ne tirent aucune conclusion ferme au sujet de l'incidence de l'investissement public sur la productivité privée. Nadiri et Mamuneas (1994) observent que l'investissement dans le réseau routier contribue à la productivité et à la croissance de la production tant au niveau sectoriel qu'au niveau de l'ensemble de l'économie aux États-Unis, bien que l'élasticité de la production par rapport au capital privé soit quatre fois plus importante que par rapport au capital routier dans toutes les industries. Enfin, Cassou et Lansing (1998) présentent un modèle d'équilibre général dans lequel le gouvernement a un comportement optimal et aboutissent à la conclusion que même si l'investissement public n'est pas optimal, comme c'est le cas aux États-Unis, il n'y a que peu d'incidence sur la croissance à long terme de la productivité du travail.

La différence évidente entre l'investissement privé et l'investissement public réside dans le mécanisme de financement. Comme nous l'avons souligné précédemment, l'investissement privé offre aux agents privés des rendements qui peuvent être internalisés, ne laissant aucun rôle à l'intervention gouvernementale. Toutefois, l'argument en faveur des infrastructures financées par l'État est fondé sur la notion traditionnelle de bien public, c'est-à-dire un bien dont l'ensemble des rendements ne peut être récupéré par un investisseur privé, entraînant potentiellement une offre sous-optimale de ce bien. Gramlich (1990) examine divers types d'investissements en infrastructure et explore la justification de leur prestation publique.

Dans une comparaison internationale, Hulten (1996) utilise un cadre semblable pour examiner l'incidence sur la productivité de la quantité et de la qualité des investissements publics dans 42 pays entre 1970 et 1990. Les régressions transversales où l'effet du capital privé, matériel et humain, a été neutralisé indiquent que l'« efficacité de l'infrastructure » a une incidence sur la croissance plus de sept fois supérieure à celle de l'investissement public. Sanchez-Robles (1998) s'intéresse aussi à d'autres mesures de l'infrastructure publique, en l'occurrence un indice des « unités matérielles d'infrastructure », et constate une corrélation importante de cet indice avec la croissance de la production. Cela laisse penser qu'il n'y a pas de moyen simple pour l'État d'améliorer la productivité par des investissements en infrastructure. Un soin considérable doit intervenir dans le choix de la forme la plus efficace d'investissement et l'on ne peut négliger les coûts sociaux connexes.

Une réserve importante

Le thème commun à toutes ces études est que l'investissement, défini de façon générale comme le sacrifice de la consommation présente pour une consommation future, est le déterminant clé de la croissance de la productivité à long terme et de la variation transversale de la productivité. Il faut toutefois faire une importante réserve : plusieurs de ces études ne s'intéressent qu'à un sous-ensemble des variables d'investissement et il n'y a qu'une certaine part de variation de la productivité à expliquer. À titre d'exemple, le ralentissement bien connu de la productivité a été attribué, par divers auteurs, à une insuffisance de l'investissement en infrastructure publique, à une insuffisance de l'investissement en R-D et à une insuffisance de l'investissement en matériel. Tous ces éléments ne peuvent être responsables de la totalité du ralentissement observé[12].

Afin de déterminer exactement l'incidence sur la productivité d'un facteur donné, il faut intégrer dans l'équation tous les facteurs de production pertinents. Ainsi, Morrison et Siegel (1997) incluent l'investissement en R-D, l'investissement en capital de haute technologie et l'investissement en capital humain dans une même analyse; ils constatent que tous ces éléments sont des déterminants significatifs de la croissance de la productivité dans le secteur manufacturier aux États-Unis, la R-D ayant l'incidence la plus forte. Les travaux de recherche empirique futurs doivent englober de nombreux types d'investissement et de capital dans toute analyse de la productivité. Ce n'est qu'en tenant compte de la quantité et de la qualité de tous les intrants que l'on pourra estimer correctement l'importance marginale de chaque forme d'investissement.

La nouvelle théorie de la croissance

Une des raisons importantes qui ont motivé les travaux sur la croissance endogène était le désir d'éviter le résultat néoclassique selon lequel le rendement décroissant du capital laissait le progrès technique exogène comme seule source de croissance du revenu par habitant à long terme. Les modèles de croissance endogène tentent d'expliquer comment les agents économiques du secteur privé prennent des décisions qui déterminent la croissance à long terme par le jeu des retombées, des rendements croissants et d'autres effets non traditionnels. Aghion et Howitt (1998) présentent un aperçu détaillé de la théorie de la croissance endogène.

Les premiers travaux sur la croissance endogène remontent à Arrow (1962), Shell (1966) et quelques autres; ils ont été poursuivis dans d'importantes études par Romer (1986, 1990), Lucas (1988) et Grossman et Helpman (1991). Arrow, Romer et Lucas présentent tous des modèles où les entreprises évoluent dans un contexte de rendements d'échelle constants des intrants privés, mais où le niveau de la technologie, *A* dans l'équation (1), dépend du stock global d'un quelconque facteur d'origine privée. Arrow (1962) insiste sur la notion d'« apprentissage sur le tas », dans laquelle l'investissement en biens matériels engendre des retombées à mesure qu'augmente globalement le capital. Autrement dit, Arrow (1962) utilise l'investissement brut passé comme indice de l'expérience et son modèle d'apprentissage sur le tas peut être présenté sous la forme simplifiée suivante[13] :

$$(9) \qquad Y_i = A(K)^* f(K_i, L_i),$$

où l'indice *i* représente les variables propres à l'entreprise et *K* est le stock de capital global. Romer (1986) rend essentiellement *A(.)* fonction du stock de R-D; Lucas (1988) modélise *A(.)* comme variable dépendante du stock de capital humain; enfin, Coe et Helpman (1995) affirment que *A(.)* dépend aussi du stock de R-D des partenaires commerciaux internationaux. Barro (1990) présente une autre spécification de la croissance endogène dans un modèle caractérisé par des rendements d'échelle constants des services du capital et de l'État, mais des rendements décroissants du capital lui-même.

Ce genre de retombées de l'investissement, qu'il provienne du capital matériel, du capital humain ou des dépenses de R-D, est ce qui distingue fondamentalement le modèle néoclassique de la nouvelle théorie de la croissance. Le simple fait d'ajouter des intrants supplémentaires, par exemple l'infrastructure publique ou le capital humain, ne suffit pas à engendrer une croissance endogène si ces autres éléments d'actif sont accumulés de la même manière que les biens matériels traditionnels, si tous les rendements sont internalisés et si chaque entreprise fait face à des rendements décroissants ou constants. Ainsi, Lucas (1988) affirme clairement qu'il veut envisager un effet externe – plus précisément en laissant le niveau moyen de compétence ou de capital humain [...] contribuer également à la productivité de tous les facteurs (p. 18); de son côté, Romer (1986) insiste sur le fait que l'investissement dans les connaissances évoque une externalité naturelle. La création de nouvelles connaissances par une entreprise est sensée avoir un effet externe positif sur les possibilités de production des autres entreprises parce que les connaissances ne peuvent être parfaitement brevetées ou gardées secrètes (p. 1003). Enfin, Coe et Helpman (1995) soutiennent que lorsqu'un pays a librement accès à tous les facteurs disponibles dans

l'économie mondiale, sa productivité dépend de l'expérience issue de la R-D de l'ensemble du monde (p. 862). L'interprétation naturelle de cet énoncé se trouve dans les retombées de la production puisque les gains ne dépendent pas des dépenses faites à même ses ressources propres.

Commentant l'étude de Jorgenson (1996) et décrivant le cadre néoclassique, Basu (1996) arrive à la conclusion suivante :

> Dans le modèle de Jorgenson, la « technologie » est simplement la connaissance (un raccourci pour la R-D) et d'autres formes de capital humain. Par ailleurs, la nouvelle théorie de la croissance, qui traite aussi la connaissance comme une forme de capital, suppose que celle-ci a quelque chose de spécial, au sens où les investisseurs ne peuvent internaliser pleinement les avantages découlant de son accumulation. La nouvelle théorie de la croissance attribue donc d'importantes retombées à l'accumulation des connaissances. (p. 79)

La présence de retombées est une importante question empirique qui a donné lieu à une abondante littérature, pour des raisons évidentes. Si un investissement en biens matériels, en capital humain ou en R-D engendre des avantages pour l'économie que les agents privés ne peuvent internaliser, cela signifie qu'il existe différents sentiers de croissance et des conséquences différentes sur le plan des politiques. Puisque l'investissement peut être trop faible du point de vue de la société, les retombées ouvrent la porte à l'intervention gouvernementale. Les données empiriques sur les retombées provenant de différentes formes d'investissement sont examinées plus loin.

Une catégorie de modèles qui mérite une attention particulière dans une analyse de l'investissement et de la productivité est celle des « technologies d'application générale » (TAG). Depuis les travaux précurseurs de Bresnahan et Trajtenberg (1995), ce courant de la recherche définit une TAG innovatrice en fonction de son potentiel d'utilisation dans une gamme étendue de secteurs et de son dynamisme technologique (p. 84). Selon ces auteurs, l'investissement dans les nouvelles TAG, par exemple la turbine à vapeur, l'électricité et les semi-conducteurs, et leur adoption subséquente engendrent des gains de productivité dans une gamme étendue d'industries et d'applications. Helpman (1998) présente une compilation d'études récentes.

Les TAG entrent dans la catégorie des modèles de croissance endogène parce qu'elles englobent explicitement deux formes de retombées liées à l'investissement. Il y a d'abord les « complémentarités au niveau de

l'innovation », qui augmentent la productivité de la R-D dans les secteurs utilisant la TAG. À titre d'exemple, la puce informatique peut permettre à une entreprise de services financiers d'innover de façons plus profitables et plus productives. Il y a aussi des externalités horizontales parce que de nombreux secteurs profitent des avantages de la TAG, mais des problèmes de coordination engendrent une offre insuffisante de la TAG. Ces externalités peuvent amener le marché à offrir un niveau sous-optimal de la TAG. En examinant comment une innovation particulière se diffuse dans l'économie, ces travaux de recherche fournissent un cadre théorique important pour l'étude empirique des retombées liées à la production. Cette explication intéressante de phénomènes connus comme la révolution informatique exige une attention continue et des recherches supplémentaires.

Comme dernier point et pour apporter plus de clarté, signalons que le terme « endogène » est employé tant par les tenants du modèle néoclassique que par ceux de la nouvelle théorie de la croissance, mais que leurs interprétations respectives diffèrent subtilement. Ainsi, Jorgenson (1996) et Jorgenson et Yip (1999) utilisent le terme endogène pour parler de l'ensemble de la croissance pouvant être attribuée à l'accumulation de facteurs mesurables, c'est-à-dire toute la croissance sauf celle correspondant au résidu inexpliqué de Solow. Par contre, les partisans de la nouvelle théorie de la croissance utilisent le terme endogène pour expliquer l'évolution du résidu. Autrement dit, Jorgenson, Griliches et d'autres ont élaboré des outils de mesure complexes pour réduire l'importance du résidu, tandis que Arrow, Romer, Lucas et d'autres ont élaboré des modèles de croissance complexes pour expliquer la création du résidu standard en conséquence d'initiatives particulières prises par des agents économiques.

Même si ces deux écoles de pensée tentent d'expliquer la croissance, elles s'intéressent à des aspects différents, ce qui a engendré une certaine confusion dans le débat actuel. Ce qui importe davantage est que les deux explications ne sont pas mutuellement exclusives parce que même un modèle complet de l'économie américaine, tenant compte de l'évolution de la qualité, laisse une large place au résidu non expliqué. Par conséquent, les deux approches ont un rôle explicatif important à jouer. Le modèle néoclassique et la nouvelle théorie de la croissance peuvent être conjugués en retenant les explications néoclassiques de l'accumulation du capital défini au sens large, pour un niveau de technologie donné, tandis que les explications issues de la nouvelle théorie de la croissance peuvent nous éclairer sur l'évolution de la technologie et l'origine du résidu[14].

3. QUESTIONS D'ACTUALITÉ ET RÉSULTATS

Dans ce chapitre, nous passons en revue plusieurs aspects de la recherche actuelle et du débat entourant l'investissement, la productivité et la croissance. Si des progrès significatifs ont été réalisés dans tous ces domaines, de nombreuses questions sont toujours sans réponse, laissant une grande place à la recherche future.

Comparaisons internationales

En dépit des sérieuses difficultés pratiques et conceptuelles, de nombreux auteurs ont examiné les différences internationales sur le plan de l'investissement et de la productivité. Van Ark (1996) présente une revue récente des méthodologies employées, dans laquelle il décrit plusieurs des difficultés qui surgissent lorsqu'on tente de comparer la productivité entre pays, par exemple la conversion à une monnaie commune, le stock de capital, les différences de qualité, l'incidence variable de la scolarité sur la productivité, etc., et il examine les bases de données internationales disponibles. Dans le présent chapitre, nous examinons brièvement plusieurs études empiriques récentes qui renferment des estimations de la performance au chapitre de l'investissement et de la productivité entre secteurs et entre pays. Cependant, nous ne traitons pas de façon détaillée de la volumineuse documentation consacrée aux régressions transversales de la croissance.

Tout d'abord, il est utile de comparer les tendances relatives de l'investissement. Kirova et Lipsey (1997, 1998) présentent des estimations de diverses mesures de la formation de capital pour 13 pays (Belgique, Canada, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Italie, Japon, Pays-Bas, Norvège, Suède, Royaume-Uni et États-Unis) et concluent que la valeur nominale de l'investissement traditionnel en biens matériels donne une image trompeuse de l'accumulation du capital. Selon l'interprétation générale du capital donnée précédemment, les auteurs calculent une version étendue de l'investissement englobant les biens de consommation durables, l'éducation, la recherche-développement et la formation de capital militaire. Comme il ressort du tableau 2, les résultats de Kirova et Lipsey (1997) montrent qu'en tenant compte des différences de prix, les États-Unis venaient en tête avec une formation réelle de capital (largement définie) par travailleur de 20 061 dollars entre 1990 et 1994, suivis du Canada à 19 670 dollars, de la Belgique à 17 447 dollars et du Japon à 16 723 dollars. Billings (1996) s'intéresse au capital matériel et conclut que les États-Unis accusent un retard au chapitre des structures commerciales; il attire l'attention sur les différences entre les méthodes d'amortissement employées en tant qu'explication possible de la variation observée.

Tableau 2
Comparaison internationale de l'investissement par travailleur 1970-1994

	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994
Définition classique de la formation de capital					
Belgique	1 999,9	3 364,4	4 435,1	6 021,2	9 156,2
Canada	2 147,5	3 610,1	5 914,9	8 332,5	10 450,1
Danemark	2 149,8	3 114,9	3 599,2	5 379,1	5 767,4
Finlande	2 333,4	3 394,6	5 225,5	7 264,3	7 704,5
France	2 394,0	3 648,4	5 452,7	7 460,3	9 809,7
Allemagne	2 277,0	3 415,1	5 109,1	6 400,9	8 589,6
Italie	2 087,5	3 092,2	4 808,4	6 382,9	8 285,7
Japon	2 109,8	3 419,6	5 327,4	7 947,1	11 733,3
Pays-Bas	2 546,6	3 801,3	4 832,8	6 110,1	7 057,7
Norvège	2 515,9	4 443,6	6 131,4	7 815,5	8 446,2
Suède	1 956,2	2 771,1	3 850,9	5 625,6	6 693,5
Royaume-Uni	1 332,1	1 997,1	2 918,2	4 522,5	5 659,5
États-Unis	2 695,9	3 971,2	5 755,0	7 637,5	9 717,1
Moyenne simple	2 195,8	3 388,0	4 873,9	6 684,6	8 390,0
Définition étendue de la formation de capital					
Belgique	3 477,5	6 044,0	8 766,1	11 953,7	17 447,1
Canada	3 926,0	6 435,8	10 356,1	15 066,4	19 669,6
Danemark	3 373,2	5 215,0	6 556,2	9 368,6	11 430,7
Finlande	3 275,1	5 009,0	7 886,4	11 576,8	13 895,9
France	3 549,2	5 678,9	8 835,1	12 345,9	16 414,1
Allemagne	3 462,7	5 632,7	8 431,1	11 197,3	15 317,7
Italie	3 029,8	4 567,0	7 627,2	10 878,4	14 905,8
Japon	2 725,4	4 570,3	7 287,6	11 199,4	16 723,5
Pays-Bas	4 227,7	6 900,6	8 742,0	10 900,3	12 716,5
Norvège	3 723,1	6 383,3	8 992,2	12 051,6	14 080,9
Suède	3 298,2	4 866,7	6 692,9	9 869,9	12 418,5
Royaume-Uni	2 317,1	3 630,9	5 722,1	8 500,2	11 281,1
États-Unis	5 277,6	7 441,5	10 625,8	14 951,8	20 061,4
Moyenne simple	3 512,5	5 567,4	8 193,9	11 527,7	15 104,8

La définition classique de la formation de capital englobe les constructions commerciales et non gouvernementales et l'achat d'usines, de matériel et de logements de type propriétaire-occupant.
La définition étendue de la formation de capital englobe l'investissement en éducation, en recherche-développement, en biens de consommation durables et en capital militaire.
Toutes les valeurs sont converties à une monnaie commune à l'aide des parités de pouvoir d'achat des biens en capital.
Source : Kirova et Lipsey (1997), tableaux B-1 et B-6.

Tableau 3
Comparaison internationale de la productivité moyenne du travail 1950-1994

	Taux de croissance moyen			Niveau de productivité relatif			
	1950-1973	1973-1987	1987-1994	1950	1973	1987	1994
Australie	2,6	1,8	1,0	71,5	69,9	76,6	76,6
Autriche	5,9	2,7	1,5	31,7	63,8	79,0	81,6
Belgique	4,5	3,0	2,2	46,5	68,1	88,6	96,3
Canada	2,9	1,7	1,0	75,3	78,9	85,9	85,7
Danemark	4,1	1,7	2,1	46,2	62,5	67,6	73,0
Finlande	5,2	2,2	2,8	31,9	55,3	64,3	72,8
France	5,0	3,1	1,7	44,4	73,4	95,8	100,7
Allemagne	6,0	2,5	3,2	33,8	69,2	84,0	98,0
Grèce	6,4	2,4	1,8	18,7	42,0	50,3	53,0
Irlande	4,3	3,6	5,1	29,9	42,5	59,3	78,6
Italie	5,8	2,5	2,6	32,9	64,3	77,8	86,9
Japon	7,7	3,0	2,6	15,2	44,8	57,9	64,6
Pays-Bas	4,8	2,6	1,5	49,3	77,4	94,7	98,0
Norvège	4,2	3,4	2,6	40,4	56,3	76,4	85,4
Portugal	6,0	1,7	2,0	18,0	36,9	39,9	42,8
Espagne	6,4	2,9	4,1	19,8	44,4	56,5	69,8
Suède	4,1	1,6	1,0	53,7	73,4	78,1	78,3
Suisse	3,3	1,2	2,6	67,7	75,9	76,5	85,4
Royaume-Uni	3,1	2,4	1,9	60,5	65,8	78,6	83,5
États-Unis	2,7	1,1	1,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Moyenne simple	4,8	2,4	2,2	42,9	62,9	74,3	80,8

La productivité moyenne du travail est définie comme étant la production intérieure brute réelle par heure travaillée.
Les niveaux de productivité sont exprimés par rapport à celui des États-Unis pour chacune des années.
La moyenne des niveaux de productivité relatifs exclut les États-Unis.
Source : van Ark (1996), tableau 1.

Tableau 4
Croissance de la productivité du travail dans le secteur manufacturier, 1979-1997

	Taux de croissance moyen		
	1979-1985	1985-1990	1990-1997
Belgique	6,1	2,3	2,7
Canada	2,3	1,2	2,0
France	3,0	3,4	3,5
Allemagne	2,0	2,2	3,2
Italie	4,9	2,6	3,4
Japon	3,5	4,3	3,2
Norvège	2,4	1,4	0,9
Suède	3,0	1,8	5,0
Royaume-Uni	4,4	4,6	2,7
États-Unis	3,1	2,2	3,7
Moyenne simple	3,5	2,6	3,0

La productivité moyenne du travail est définie comme étant la valeur ajoutée réelle par heure travaillée dans le secteur manufacturier.
Source : U.S. Bureau of Labor Statistics (1998), tableau B.

Pour ce qui est des comparaisons de la productivité, van Ark (1996) présente des estimations récentes de la productivité relative du travail (niveau et taux de croissance) dans les pays de l'OCDE. Ses résultats sont présentés au tableau 3; ils révèlent de nombreuses tendances familières : ralentissement soutenu de la productivité après 1973 dans la plupart des pays industrialisés, variation de plus en plus grande de la croissance de la productivité depuis 1987 et avantage relatif au chapitre de la productivité pour les États-Unis jusqu'en 1987. À partir de 1994, toutefois, la France a devancé les États-Unis quant au niveau de productivité du travail dans l'ensemble de l'économie (PIB réel par travailleur).

À l'aide des mêmes données, Pilat (1996) a examiné les différences de niveau et de taux de croissance de la productivité dans les industries de fabrication et de services des pays de l'OCDE, en s'intéressant plus particulièrement aux différences observées dans le capital matériel, le capital humain et la R-D comme source possible d'explication. Le U.S. Bureau of Labor Statistics (1998) présente aussi des estimations de la productivité manufacturière à un niveau désagrégé, pour dix pays et la période 1979-1997. Ces taux de croissance sont reproduits au tableau 4; ils sont généralement

plus élevés que ceux mesurés par van Ark (1996) pour l'ensemble de l'économie et montrent une divergence croissante entre le secteur manufacturier et celui des services. Un important sujet de recherche future serait de tenter de voir si cette tendance traduit des données déficientes, un problème de mesure ou un phénomène lié à la productivité réelle.

Dougherty et Jorgenson (1996, 1997) utilisent le cadre néoclassique étendu décrit précédemment pour expliquer les différences observées au niveau de la productivité du travail dans les pays du G7 (Canada, France, Allemagne, Italie, Japon, États-Unis et Royaume-Uni) au cours de la période 1960-1989. Ils concluent que l'investissement et l'accumulation du capital, largement définis, sont la principale source de croissance dans tous les pays, sauf la France. Jorgenson et Yip (1999) ont mis à jour ces calculs jusqu'en 1995 et arrivent à des conclusions semblables. Ces résultats, présentés au tableau 5, montrent que la croissance mesurée des intrants par habitant a été la principale source de croissance de la production par habitant, seuls les États-Unis et le Japon affichant une contribution positive de la croissance de la PTF durant les années 90. Par contre, Klenow et Rodriguez-Clare (1997) utilisent une analyse de régression transversale et affirment que la croissance de la PTF est responsable de près de la moitié de la croissance de la production dans un échantillon de 98 pays. Ces études ont examiné des échantillons différents – Jorgenson et Yip ne se sont intéressés qu'à un sous-ensemble de pays riches – et il serait utile de départager les différences méthodologiques qui ont pu entraîner des divergences aussi importantes sur le plan empirique.

Bien que les contraintes de données obligent habituellement à restreindre ces études aux pays développés, certains travaux récents ont été consacrés aux économies nouvellement industrialisées d'Asie. Krugman (1994), Young (1995) et Collins et Bosworth (1996) utilisent un modèle néoclassique pour évaluer le potentiel de croissance à long terme des pays nouvellement industrialisés (PNI) d'Asie. Les trois études arrivent à la conclusion que l'accumulation du capital, largement définie, plutôt que le progrès technique exogène (mesuré par la croissance de la PTF), a été la principale source d'expansion et se montrent plutôt pessimistes quant aux perspectives de croissance future. Ces affirmations ont déclenché un vif débat au sujet de l'importance relative de l'accumulation du capital et de la croissance de la productivité totale des facteurs en tant que raisons à l'origine du succès de ces économies. Hsieh (1997), Rodrick (1997) et Young (1998b) présentent des opinions récentes sur cette controverse.

Tableau 5
Sources de croissance pour les pays du G7
1960-1995

	1960-1973	1973-1989	1989-1995
		Canada	
Production par habitant	3,20	2,45	-0,37
Intrants par habitant	1,70	2,21	0,21
Productivité totale des facteurs	1,51	0,23	-0,59
		France	
Production par habitant	4,26	2,04	0,92
Intrants par habitant	2,15	0,74	1,37
Productivité totale des facteurs	2,11	1,31	-0,45
		Allemagne	
Production par habitant	3,74	2,15	1,66
Intrants par habitant	1,24	1,25	1,78
Productivité totale des facteurs	2,50	0,90	-0,11
		Italie	
Production par habitant	4,62	2,69	1,40
Intrants par habitant	0,79	2,42	1,49
Productivité totale des facteurs	3,82	0,27	-0,10
		Japon	
Production par habitant	8,77	2,71	1,81
Intrants par habitant	2,42	2,15	1,63
Productivité totale des facteurs	6,35	0,56	0,18
		Royaume-Uni	
Production par habitant	2,74	1,75	0,42
Intrants par habitant	0,98	1,10	1,77
Productivité totale des facteurs	1,76	0,65	-1,35
		États-Unis	
Production par habitant	2,89	1,90	0,97
Intrants par habitant	1,53	1,45	0,68
Productivité totale des facteurs	1,36	0,45	0,29

Toutes les valeurs représentent des taux de croissance annuels moyens.
Les intrants par habitant englobent la contribution du stock de capital, de la qualité du capital, des heures travaillées et de la qualité du travail à la croissance.
Source : Jorgenson et Yip (1999), tableau 3.

Retombées des investissements en matériel

L'hypothèse selon laquelle l'investissement pourrait engendrer des effets de productivité externes remonte au moins à Arrow (1962), qui a formalisé cette notion en traitant l'expérience favorable à la productivité comme une fonction du stock de capital accumulé. Wolff (1991) explore cette notion et énumère cinq canaux qui pourraient lier l'investissement et le progrès technologique : 1) l'investissement requis pour appliquer des inventions nouvelles, comme dans Solow (1960); 2) l'investissement à l'origine de changements organisationnels; 3) l'apprentissage sur le tas, comme dans Arrow (1962); 4) la technologie offrant un taux de rendement plus élevé qui stimule l'investissement; et 5) les effets de rétroaction positifs par le biais de la croissance de la demande globale. Wolff (1991, tableau 3) constate l'existence d'un lien statistique entre la croissance de la PTF et la croissance du ratio capital-travail dans sept pays au cours de la période 1870-1979, bien que la relation ne semble pas particulièrement robuste. En outre, ce genre de résultat est vulnérable à la critique de Jorgenson-Griliches sur l'utilisation du stock de capital et des heures travaillées plutôt que d'indices à qualité constante des facteurs capital et travail dans l'estimation de la croissance de la PTF.

Dans une série d'articles controversés, DeLong et Summers (1991, 1992, 1993) recherchent la présence de retombées des investissements en matériel qui influeraient sur la productivité. Après avoir examiné un grand nombre de périodes, de spécifications, de tests statistiques et d'échantillons de pays, DeLong et Summers (1991) arrivent à la conclusion que le rendement social sur le matériel est important et dépasse de beaucoup le rendement privé. DeLong et Summers (1992) prolongent ces travaux à un plus grand nombre de pays et à une période plus récente, en y ajoutant d'autres tests statistiques; ils parviennent à la même conclusion même en limitant leur analyse à des sous-ensembles d'économies relativement riches. Bien qu'ils ne modélisent pas directement le lien entre l'investissement et les retombées associées à la productivité, ils affirment que l'expérience des producteurs engendre des gains d'efficience dans les procédés de production et que la rétro-ingénierie et l'apprentissage organisationnel accompagnent l'investissement en équipements nouveaux.

Ces résultats ont manifestement des conséquences pour l'intervention gouvernementale en tant qu'instrument de stimulation de la croissance et DeLong et Summers n'hésitent pas à prendre position sur ce point. Dans leur première étude, ils affirment que si les résultats résistent à l'examen [...] les gains découlant d'une augmentation de l'investissement en matériel grâce à des stimulants fiscaux ou autres sont de loin supérieurs aux pertes résultant de

tout élément de non-neutralité (DeLong et Summers 1991, p. 485). Dans leur seconde étude, ils vont plus loin et concluent que les gouvernements doivent éviter toute politique d'incitation défavorable aux biens d'équipement (DeLong et Summers 1992, p. 195). Même si les auteurs reconnaissent explicitement l'importance des signaux du marché et qu'ils sont conscients des difficultés inhérentes à l'ingénierie économique, ils se prononcent ouvertement en faveur d'une intervention gouvernementale pour promouvoir les investissements en matériel.

Mais ces résultats ont suscité beaucoup de controverse et il n'est pas clair qu'ils pourraient résister à un examen attentif. Dans le commentaire officiel de l'étude, Abel (1992) se demande si les données employées sont suffisamment robustes pour rejeter la vision néoclassique de l'absence de retombées, tandis que la « discussion générale » subséquente a fait ressortir des questions fondamentales de causalité, de variables omises, de biais et d'interprétation axée sur l'externalité. Auerbach, Hassett et Oliner (1994) formalisent certaines de ces objections et notent qu'étant donné que le matériel se déprécie plus vite que les structures, il requiert un produit marginal plus élevé même dans le modèle néoclassique traditionnel. Dans une vigoureuse défense du modèle néoclassique, ils observent des rendements sur le matériel et les structures concordant parfaitement avec le modèle de Solow, pour en conclure que la preuve de l'existence de rendements excédentaires sur les investissements en matériel est mince (p. 790).

Au-delà de la question empirique de savoir s'il existe une forte relation de causalité, un deuxième groupe de critiques porte sur les conséquences au plan des politiques gouvernementales. Ainsi, dans la « discussion générale », Robert Gordon se demande si d'autres mesures d'incitation gouvernementales, par exemple le système d'éducation ou l'infrastructure publique, ne seraient pas préférables d'un point de vue social. Temple et Voth (1998) développent cette idée dans un modèle où l'accumulation du capital humain détermine l'industrialisation, la croissance de la productivité et l'investissement en matériel. Même si DeLong et Summers reconnaissent la validité de plusieurs de ces critiques, il demeure qu'elles ne peuvent être facilement écartées.

Tandis que la question demeure vivement débattue, les données présentées jusqu'à maintenant laissent penser que l'investissement en matériel agit principalement sur la croissance et la productivité par les canaux néoclassiques traditionnels. Autrement dit, l'investissement engendre une intensification du capital et une amélioration de la productivité du travail mais

n'est pas une source de productivité totale des facteurs. D'autres recherches s'imposent avant de pouvoir présenter une thèse convaincante en faveur des retombées de l'investissement en matériel et de l'intervention gouvernementale à ce niveau. Dans l'intervalle, l'explication plus simple semble plus appropriée.

Retombées des investissements en R-D

La création de connaissances est une importante source de productivité et de croissance économique et l'investissement en recherche-développement (R-D) engendre de nouvelles connaissances. Si la création de connaissances nouvelles nécessite des dépenses et est considérée à juste titre comme un investissement, on a l'impression que le capital intellectuel diffère du capital matériel sur certains points fondamentaux. La connaissance ne semble pas avoir un caractère d'exclusivité : plusieurs producteurs peuvent utiliser simultanément la même idée et il est difficile de s'en approprier les rendements (c'est-à-dire qu'il peut y avoir des retombées). Comme l'ont noté Romer (1994), Basu (1996) et d'autres, ce sont ces effets externes qui importent tant dans la nouvelle théorie de la croissance. Hall (1996) énumère certaines des raisons pour lesquelles la R-D pourrait engendrer des retombées, par exemple la rétro-ingénierie, la migration des scientifiques et des ingénieurs et la libre diffusion de la R-D publique. Grossman (1996) insiste sur les différences entre le capital de R-D et le capital matériel (notamment aux p. 86-88).

Pour ouvrir une brève parenthèse, Hall (1996) discute également de la façon dont la concurrence peut provoquer une baisse des prix des biens des entreprises innovatrices, mais Griliches (1995) établit une distinction entre le problème de détermination des prix qui se pose lorsque la transaction ne traduit pas fidèlement l'avantage marginal de l'innovation et les retombées intrinsèques des connaissances. Les problèmes de mesure sont certes importants, notamment pour les nouveaux biens et services, mais ce sont les véritables retombées des connaissances, que Griliches définit comme étant les idées empruntées par les équipes de recherche de l'industrie *i* parmi les résultats des recherches de l'industrie *j* (p. 66), qui peuvent rendre le capital intellectuel fondamentalement différent.

La documentation empirique sur les retombées de la R-D est volumineuse et a fait l'objet d'excellentes revues[15]. Plutôt que de reprendre ici ces efforts, nous examinerons les retombées de l'investissement en R-D en tant que source de croissance de la productivité dans le contexte de la théorie néoclassique et de la nouvelle théorie de la croissance.

Les données microéconomiques indiquent qu'il ne faut pas négliger les retombées de la R-D[16], mais l'importante variation dans les résultats et les difficultés conceptuelles nous incitent à la prudence. Ainsi, Griliches (1995) affirme que l'incidence de la R-D dans les analyses faites au niveau de l'industrie n'est pas plus importante que celle qui ressort des analyses au niveau de l'entreprise (comme le supposerait la présence de retombées) et il émet une mise en garde : en dépit de diverses tentatives à la fois sérieuses et prometteuses, il a été très difficile d'estimer la contribution indirecte de la R-D sous forme de retombées profitant à d'autres entreprises, industries et pays (p. 83). Vu la rareté des données et les problèmes méthodologiques examinés précédemment, il est difficile de tirer des conclusions définitives de ces études.

La question empirique des retombées de la R-D peut aussi être évaluée dans une perspective macroéconomique et ce courant de la recherche montre que la R-D est moins importante pour la productivité et la croissance. Dans deux articles influents, Jones (1995a, 1995b) vérifie des modèles de croissance endogène axés sur la R-D à l'aide de données agrégées sur les intrants de la R-D dans les pays industrialisés et les juge insatisfaisants. La difficulté empirique est due à un « effet d'échelle » parce que ces modèles prédisent habituellement que la croissance sera proportionnelle à l'investissement en R-D dans l'ensemble de l'économie. La figure 1 montre l'évolution du nombre de scientifiques et d'ingénieurs affectés à des activités de R-D, de même que les estimations de Jones (1995b) sur la croissance de la PTF aux États-Unis; comme on peut le voir, les données ne révèlent pas de relation évidente[17]. Utilisant des outils économétriques plus complexes, Jones (1995b) arrive à la conclusion que les modèles axés sur la R-D sont rejetés sur la base de ces données (p. 519). Cette critique influente a engendré toute une série d'articles, par exemple ceux de Segerstrom (1998) et Young (1998a), où l'on a supprimé le lien entre les facteurs d'échelle et la croissance que l'on retrouvait dans de nombreux modèles de croissance endogène. Jones (1999) présente une synthèse de ces études. Dans un article plus récent, Jones et Williams (1998) ont formalisé l'incidence macroéconomique des effets externes de la R-D à l'aide d'un modèle semblable à celui de Romer (1990). Leur but est d'estimer le montant optimal d'investissement en R-D à l'aide d'un cadre général de croissance :

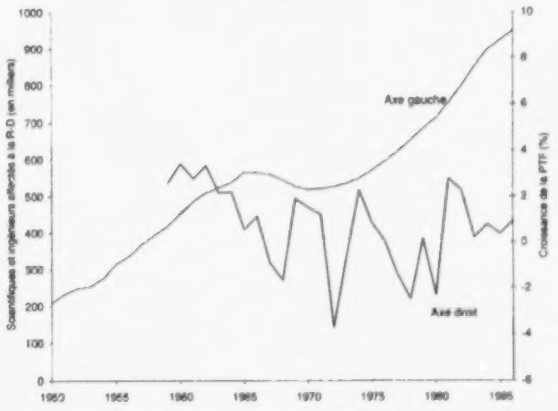
$$(10) \quad Y_t = F(A_t, X_t)$$

et

$$(11) \quad A_{t+1} - A_t = G(R_t, A_t),$$

où Y est la production, A le stock de connaissances, X les intrants privés et R l'investissement en R-D.

Figure 1
Scientifiques et ingénieurs affectés à la R-D et croissance globale de la PTF aux États-Unis, 1950-1988



Source : Jones (1995b), figures IV et V; http://www.stanford.edu/~chadj/TimeEGM.asc

Le modèle intègre diverses externalités, par exemple des effets de congestion sous la forme d'un dédoublement de la R-D, des retombées des connaissances et le remplacement d'idées anciennes par de nouvelles, qui échappent au contrôle des entreprises individuelles et qui, par conséquent, engendrent des retombées et une croissance endogène. Jones et Williams (1998) calibrent le modèle et estiment que l'investissement optimal en R-D se situerait entre deux et quatre fois l'investissement actuel aux États-Unis. Cela semble confirmer le rôle important de la R-D, mais tout en demeurant compatible avec la réfutation empirique des modèles de la R-D avancée par Jones (1995a, 1995b).

Il faut aussi tenir compte des conséquences sur le plan des politiques. À première vue, la présence possible de retombées de la R-D influant sur la productivité semble ouvrir la porte à l'intervention gouvernementale selon les arguments habituels fondés sur l'imperfection des marchés. Cependant, il n'est pas clair que cela est approprié : Boskin et Lau (1996) affirment qu'à la marge, l'investissement en R-D pourrait ne pas engendrer de retombées; Griliches (1995) fait état d'une forte prime à la R-D financée par l'entreprise elle-même, par rapport aux projets de R-D soutenus par l'État; Hall (1996) prétend pour sa part qu'il n'y a pas de rendements privés excédentaires sur la R-D fédérale aux États-Unis ou ailleurs; enfin, Aghion et Howitt (1992) présentent une argumentation théorique pour démontrer qu'il y aurait surinvestissement en R-D dans les marchés où la concurrence est imparfaite. Jones et Williams (1998), Boskin et Lau (1996), Grossman (1996) et Hall (1993, 1996) examinent cette question en détail et les difficultés considérables qu'ils éprouvent à mesurer l'incidence de l'investissement en R-D les empêchent de formuler des normes précises en matière de politiques.

Un dernier sujet d'intérêt est le rôle des retombées de la R-D dans le contexte international. Utilisant une catégorie générale de modèles élaborés par Grossman et Helpman (1991), Coe et Helpman (1995) arrivent à la conclusion que les retombées de la R-D entre pays sont une importante source de croissance de la productivité. Autrement dit, les niveaux de productivité d'un pays semblent en corrélation avec les investissements antérieurs en R-D chez ses principaux partenaires commerciaux. Keller (1998) a toutefois contesté ces résultats sur le plan empirique après avoir reproduit les calculs de Coe et Helpman avec des profils de commerce aléatoires et obtenu un plus grand pouvoir explicatif qu'avec les données sur le commerce bilatéral.

Keller (1998) adresse aussi une seconde critique, peut-être plus pertinente à la comparaison entre croissance endogène et exogène. Dans son traitement des modèles généraux de Grossman et Helpman, Keller affirme qu'il y a des retombées au chapitre de la productivité si le pays importateur paie moins que le produit marginal intégral du bien intermédiaire (p. 1470). Cela rappelle la distinction faite par Griliches (1995) entre les retombées véritables et les problèmes classiques de détermination des prix. Bien qu'il semble très difficile de le faire en pratique, si l'on pouvait attribuer un prix exact à tous les attributs et caractéristiques de qualité, l'amélioration de la qualité ou de la variété des intrants intermédiaires ne serait pas une source de retombées influant sur la productivité.

Le paradoxe de la productivité de l'informatique

Au cours des dernières décennies, l'investissement en matériel de haute technologie, en particulier le matériel informatique, a connu un véritable essor, mais la croissance globale de la productivité est demeurée léthargique. Cette contradiction apparente, appelée le « paradoxe de la productivité de l'informatique », a préoccupé de nombreux observateurs et est à l'origine d'un important effort de recherche au niveau tant microéconomique que macroéconomique. En dépit des problèmes de mesure et des questions d'identification, ce travail a donné des résultats intéressants et engendré de nombreuses explications concurrentes. Dans cette section, nous passons en revue la documentation pertinente en proposant des pistes de recherche pour l'avenir[18].

Le trait caractéristique de la révolution de la technologie de l'information (TI) est l'amélioration spectaculaire de la qualité des ordinateurs, du matériel périphérique et du matériel de haute technologie connexe. Le principe incarné par la Loi de Moore – le nombre de transistors sur une puce informatique double tous les 18 mois – est que chaque nouvelle génération d'ordinateurs supplante facilement les modèles considérés à la fine pointe de la technologie quelques années auparavant. En se basant sur les premiers travaux hédonistes de Cole, Chen, Barquin-Stolleman, Dulberger, Helvacian et Hodge (1986), le Bureau of Economic Analysis (BEA) des États-Unis a élaboré des déflateurs de prix à qualité constante pour les ordinateurs et le matériel périphérique en 1986, dans le but de transposer les améliorations qualitatives spectaculaires en hausse de l'investissement réel et de la production réelle. Ces séries, qui intègrent maintenant les estimations plus récentes produites par le Bureau of Labor Statistics dans le cadre de son projet sur l'indice des prix des producteurs, font voir une diminution annuelle du prix des investissements en informatique à qualité constante de plus de 18 p. 100 sur un intervalle de près de quatre décennies[19]. En supposant qu'un rajustement de ce genre pour tenir compte de l'évolution de la qualité est approprié[20], la première question que l'on doit se poser est la suivante : que prédit la théorie économique devant des changements aussi spectaculaires des prix relatifs?

Jorgenson et Stiroh (1999, 2000) isolent l'importance de l'investissement en informatique dans un modèle complet de l'économie américaine, rajusté pour tenir compte de la qualité, et signalent la substitution rapide opérée par les entreprises qui cherchent à maximiser leurs bénéfices et les consommateurs qui cherchent à maximiser leur utilité vers les ordinateurs relativement peu coûteux, au détriment des autres facteurs comme le travail et les autres formes de capital. Comme le montre le tableau 6, tiré de Jorgenson et Stiroh (1999), le prix

des investissements en ordinateurs, rajusté pour tenir compte de la qualité, a chuté de 17 p. 100 et le coût d'utilisation de 15 p. 100 entre 1990 et 1996. Les prix des autres facteurs ont augmenté durant la même période. En réaction à ces changements considérables des prix relatifs, les entreprises américaines ont investi fortement en informatique et ont accumulé les ordinateurs beaucoup plus rapidement que les autres intrants.

Tableau 6
Taux de croissance des prix et des quantités
1990-1996

	Prix	Quantité
Production		
Production totale	2,33	2,36
Autre que les ordinateurs	2,60	2,01
Ordinateurs	-18,69	30,37
Biens d'investissement (I_c)	-16,55	28,32
Biens de consommation (C_c)	-24,23	37,32
Services des biens de consommation durables (S_c)	-23,41	31,92
Intrants		
Services du capital (K)	3,24	1,82
Autre que les ordinateurs (K_n)	3,59	1,50
Ordinateurs (K_c)	-14,94	18,71
Services des biens de consommation durables (D)	1,95	2,87
Autres que les ordinateurs (D_n)	2,28	2,49
Ordinateurs (D_c)	-23,41	31,92
Facteur travail (L)	2,25	2,19

Toutes les valeurs représentent des pourcentages annuels moyens.
Source : Jorgenson et Stiroh (1999), tableau 1.

Haimowitz (1998), Jorgenson et Stiroh (1995, 1999, 2000), Oliner et Sichel (1994, 2000) et Whelan (1999) incorporent ces tendances de l'investissement dans un cadre néoclassique de comptabilité de la croissance afin d'estimer la contribution des ordinateurs à la croissance, définie par le taux de croissance réel pondéré selon les parts des différents facteurs, comme dans l'équation (3). Haimowitz (1998) fait état d'une contribution de 0,38 à la croissance entre 1992 et 1996; Oliner et Sichel (2000) estiment que le matériel

informatique et les logiciels ont contribué 0,93 point de pourcentage à la croissance entre 1996 et 1999; enfin, Jorgenson et Stiroh (2000), dont les résultats sont reproduits au tableau 1, évaluent la contribution de l'ordinateur et des logiciels à 0,39 de 1990 à 1998[21]. Bien que modeste en termes absolus, la contribution de l'informatique à la croissance est importante en comparaison des autres catégories de biens en capital à cause de la substitution généralisée vers cette technologie et de l'accumulation rapide du capital connexe.

Cependant, même si les entreprises américaines ont investi massivement en informatique, la productivité est demeurée faible. Le Bureau of Labor Statistics (1999a, 1999b) soutient que la productivité moyenne du travail (PMT) non agricole dans le secteur privé aux États-Unis a augmenté de seulement 1,2 p. 100 et la productivité totale des facteurs (PTF) de 0,4 p. 100 par année entre 1990 et 1997. Par contre, la PMT et la PTF ont augmenté de 2,9 p. 100 et de 1,9 p. 100 par année, respectivement, entre 1948 et 1973. Compte tenu de la promesse considérable et de la rapidité des investissements dans ce domaine, certains ont été déçus par la lenteur de la productivité[22].

Afin de comprendre l'incidence sur la productivité, il faut prendre soin de distinguer l'*utilisation* des ordinateurs de la *production* des ordinateurs. Puisque les ordinateurs représentent à la fois la production d'une industrie (celle de la fabrication des ordinateurs) et un intrant pour d'autres industries (celles qui utilisent l'ordinateur), on doit s'attendre à ce que l'incidence diffère d'une industrie à l'autre. Étant donné que le même déflateur à qualité constante est utilisé pour estimer l'investissement réel dans les ordinateurs en tant que produit (bien de la demande finale dans le PIB) et intrant (faisant partie du stock de capital), les améliorations considérables apportées aux ordinateurs sur le plan de la qualité ont contribué à une croissance plus rapide de la production dans le secteur de la production des ordinateurs et à une accumulation plus rapide des ordinateurs en tant qu'intrant dans les industries utilisant l'ordinateur. Par conséquent, il faut s'attendre à observer une accumulation rapide du capital et une croissance de la PMT dans les industries qui utilisent l'ordinateur, de même qu'un progrès technique et une croissance de la PTF dans le secteur qui produit les ordinateurs. Cette dichotomie fondamentale est présente dans l'article précurseur de Solow (1957), mais elle a souvent été négligée dans les débats sur le paradoxe de la productivité des ordinateurs.

Examinons la productivité des entreprises et des industries qui investissent dans les ordinateurs et qui utilisent ces biens d'équipement. Comme dans l'équation (4) et tel que l'a souligné Stiroh (1998a), l'investissement en informatique contribue directement à la croissance de la PMT par le jeu de l'accumulation classique du capital. En offrant aux travailleurs

une plus grande quantité de matériel de meilleure qualité, l'investissement en informatique devrait contribuer à hausser la productivité du travail dans les industries qui utilisent l'ordinateur. Mais la PTF ne sera pas directement touchée par cet investissement parce que toutes les contributions à la production seront captées par la variable représentant l'accumulation du capital. L'utilisation des ordinateurs hausse la PTF uniquement s'il y a des effets non traditionnels comme des retombées au niveau de la production ou des externalités de réseau, ou encore si les intrants sont mesurés de façon inexacte.

Envisageons maintenant la productivité des entreprises et des industries qui produisent des ordinateurs et d'autres biens de haute technologie. Ces industries connaissent un progrès technique fondamental – la capacité de produire une plus grande quantité de biens à partir des mêmes intrants – qui devrait être mesuré sous forme de croissance de la PTF et de la PMT, comme dans l'équation (4).

En dépit de cette relation conceptuelle simple, les données empiriques ne sont pas concluantes. Pour ce qui est de l'utilisation des ordinateurs et de la croissance de la PMT, Gera, Gu et Lee (1999) et McGuckin et Stiroh (1998) constatent une incidence positive de l'investissement en informatique dans la plupart des industries, tandis que McGuckin, Streitwieser et Doms (1998) font état d'une productivité plus élevée dans les établissements manufacturiers qui utilisent du matériel de haute technologie; pour leur part, Berndt et Morrison (1995) observent un impact négatif. En termes de croissance de la PTF, Siegel et Griliches (1992) et Siegel (1997) ont calculé un impact positif de l'investissement en informatique, tandis que Berndt et Morrison (1995) et Stiroh (1998a) obtiennent une relation soit négative, soit non significative.

Conformément à la notion selon laquelle le progrès technique fondamental est le moteur de ces nouveaux investissements en haute technologie, Stiroh (1998a), le Bureau of Labor Statistics (1998b) et Oliner et Sichel (2000) font état d'une forte croissance de la PTF dans les industries produisant du matériel de haute technologie, c'est-à-dire les industries 35 et 36 de la CTI à deux chiffres aux États-Unis. Cependant, une réserve importante exprimée par Triplett (1996) est que l'on doit intégrer des rajustements pour tenir compte de la qualité de tous les intrants si l'on veut répartir correctement la PTF entre les secteurs. Étant donné que le Bureau of Economic Analysis a récemment intégré des déflateurs de prix à qualité constante pour les semi-conducteurs dans les comptes nationaux des États-Unis, un sujet évident de

recherche future sera la mise à jour des estimations de la PTF au niveau de l'industrie à l'aide des nouveaux déflateurs des prix des intrants.

Il existe aussi une abondante littérature microéconomique où l'on a tenté d'estimer, par des méthodes économétriques, les rendements de l'investissement en ordinateurs et en technologie de l'information (TI) dans les entreprises et les industries[23]. Ces travaux de recherche, notamment ceux de Gera, Gu et Lee (1999), de Brynjolffson et Hitt (1993, 1995, 1996), de Lehr et Lichtenberg (1999) et de Lichtenberg (1995) ont habituellement produit des estimations des rendements sur l'investissement en informatique dépassant les rendements observés sur les autres formes de capital. Par contre, Berndt et Morrison (1995) et Morrison (1997) présentent des données indiquant qu'il y aurait surinvestissement dans les biens en capital de haute technologie. Cependant, même les résultats montrant des rendements excédentaires ne sont pas forcément incompatibles avec le modèle néoclassique et ne requièrent pas d'explications supplémentaires, telles que les retombées ou les effets de réseau. Plutôt, les ordinateurs doivent avoir un produit marginal élevé parce qu'ils deviennent désuets rapidement[24]. Aussi, même si les ordinateurs ont un prix d'acquisition peu élevé, leur désuétude précoce rend leur utilisation coûteuse. En outre, les travaux récents de Brynjolffson et Yang (1997) indiquent qu'en bonne partie, les « rendements excédentaires » des ordinateurs représentent des rendements sur des intrants jusqu'à maintenant non spécifiés comme l'investissement en logiciels, la formation et le changement organisationnel qui accompagnent l'investissement en informatique. Par conséquent, les données empiriques provenant des études microéconomiques nous ramènent au modèle de croissance néoclassique.

Cela laisse toujours sans réponse la question de savoir pourquoi la croissance de la PMT demeure lente. De nombreux auteurs ont fait valoir que des problèmes de mesure persistants pourraient être à l'origine du phénomène parce que les ordinateurs sont fortement concentrés dans les industries de services, où la production et la productivité sont notoirement difficiles à mesurer. À titre d'exemple, Gera, Gu et Lee (1999) signalent que les industries de services représentaient 91 p. 100 de tous les investissements en TI au Canada et 83 p. 100 aux États-Unis en 1990. De même, Triplett (1999b) et Stiroh (1998a) arrivent à une proportion qui n'est que légèrement inférieure à celles précédemment mesurées pour les États-Unis. Cela a incité certains commentateurs, dont Diewert et Fox (1999), Griliches (1994), Maclean (1997) et McGuckin et Stiroh (1999), à dire que les erreurs de mesure pourraient occuper une place importante dans l'explication du paradoxe de la productivité de l'informatique.

Les erreurs de mesure peuvent être importantes de deux façons. Premièrement, Griliches (1994) note que les industries de services qui utilisent intensément l'ordinateur voient leur part des économies développées croître de façon stable, de sorte que toute erreur de mesure persistante entraîne maintenant une sous-estimation plus importante de la productivité globale. Sichel (1997a) évalue cette possibilité de façon empirique et conclut que la part croissante du secteur des services ne peut expliquer qu'une faible partie du ralentissement de la productivité. Deuxièmement, les ordinateurs peuvent contribuer à aggraver les problèmes de mesure dans les industries qui en font une grande utilisation. Bien que le Bureau of Labor Statistics ait apporté des améliorations importantes à la mesure de l'IPC aux États-Unis pour réduire le biais inhérent à cet indice[25], il se peut que le rôle croissant joué par les ordinateurs à la faveur de la prolifération de produits nouveaux, de la substitution entre intrants et des améliorations apportées aux produits ait aggravé les problèmes de mesure qui se posaient déjà dans certaines industries. Dean (1999) et Gullickson et Harper (1999) présentent des données détaillées sur les problèmes de mesure dans les industries de services aux États-Unis.

Cependant, Baily et Gordon (1988) ont formulé une importante réserve en affirmant que de nombreux services associés à l'ordinateur sont vendus comme biens intermédiaires, de sorte que leur incidence sur la demande finale, c'est-à-dire le PIB, devrait être limitée. En outre, Triplett (1999b) prend partie contre l'explication axée sur les « nouveaux produits ». Néanmoins, c'est là un important domaine de recherche pour l'avenir parce que l'on ignore essentiellement si les problèmes de mesure ont empiré dans les industries de services où l'on utilise l'ordinateur de façon intensive.

Une deuxième explication répandue est que les ordinateurs sont encore relativement nouveaux et que ce n'est qu'une question de temps avant qu'ils ne transforment en profondeur les processus de production et inaugurent une ère de plus forte croissance de la productivité. David (1989, 1990), notamment, a reçu une attention considérable après avoir tracé un parallèle entre la lenteur avec laquelle se sont manifestés les avantages de l'électricité et de l'informatique au niveau de la productivité. Toutefois, Triplett (1999a) fait valoir de façon convaincante que la baisse spectaculaire des prix et les profils de diffusion des ordinateurs sont sans précédent et il fait une mise en garde contre la tentation de tracer de telles analogies. En outre, les ordinateurs ne représentent plus vraiment un investissement nouveau – le premier achat commercial d'un gros ordinateur IBM UNIVAC remonte à 1954 et

l'investissement dans les ordinateurs constitue un poste distinct dans les comptes nationaux des États-Unis depuis 1958; cette hypothèse de la masse critique commence donc à perdre de sa crédibilité[26].

Une dernière explication de la lenteur de la croissance de la productivité veut tout simplement que les ordinateurs ne soient peut-être pas aussi productifs qu'on le pensait. Les anecdotes prolifèrent au sujet des pannes de système, des longs temps d'arrêt, des « fonctions » non désirées et inutiles, ainsi que des mises à niveau qui demandent du temps, tous des facteurs qui peuvent réduire la productivité de l'investissement en informatique. Gordon (1998) résume cette vision pessimiste. Cependant, cela voudrait dire que les entreprises ont commis d'énormes erreurs sur le plan des investissements, ce que n'appuie pas une bonne partie de la documentation empirique.

En dépit du débat qui a cours, la révolution informatique est essentiellement une manifestation néoclassique d'une baisse des prix relatifs et d'une substitution de facteurs. Le changement technique dans la production des biens de haute technologie abaisse leur prix relatif, suscite un investissement massif en biens de haute technologie et, en bout de ligne, engendre des changements dans le comportement des ménages et des entreprises. Mais ces avantages profitent surtout aux producteurs et aux utilisateurs des biens d'investissement de haute technologie et il y a peu de données attestant de la présence d'importantes retombées des ordinateurs. La recherche future devrait donc porter sur l'incidence de l'informatique dans les industries de services où se posent des problèmes de mesure, dans un contexte élargi englobant les investissements connexes en logiciels et en formation. Ce n'est qu'en intégrant tous les intrants que l'on peut mesurer avec exactitude la productivité et le rendement associés à la révolution de l'informatique.

Questions liées au facteur travail

L'impact de l'investissement sur le travail est un domaine qui a suscité beaucoup d'intérêt au niveau des politiques, depuis au moins le tournant du siècle, alors que le Bureau of Labor Statistics des États-Unis a commencé à publier des estimations de la productivité du travail en réponse au cri d'alarme lancé par ceux qui prétendaient que les nouvelles machines remplaçaient des emplois. La question de la substitution ou de la complémentarité capital-travail est importante parce qu'elle influe directement sur la situation du marché du travail et le niveau de vie. Les travaux récents ont visé principalement à déterminer si les nouveaux investissements sont biaisés en faveur de

certaines formes de travail et s'ils influent sur la prime salariale accordée aux compétences supérieures.

L'incidence des investissements nouveaux et du changement technologique sur la composition et la qualité de la population active est ambiguë sur le plan empirique[27]. Ainsi, Griliches (1969) affirme que le capital est complémentaire de la main-d'œuvre hautement qualifiée en raison de la formation accrue requise pour faire fonctionner le matériel nouveau, tandis que Braverman (1974) et Levy et Murnane (1996) font valoir que l'investissement en matériel de haute technologie contribue à la « déqualification » des emplois, parce qu'il permet de réaffecter des tâches à des niveaux inférieurs et, ainsi, réduit le niveau moyen des compétences des travailleurs. De même, la nature du changement technologique axé sur les compétences, définie comme une augmentation exogène de la demande relative pour un ratio donné des salaires relatifs, est une question empirique.

Berman, Bound et Griliches (1994) présentent des données montrant la complémentarité entre le matériel et les compétences et concluent que le changement technologique axé sur les compétences a été un facteur dominant dans le déplacement de la main-d'œuvre vers le travail non directement lié à la production dans le secteur manufacturier aux États-Unis dans les années 80. En particulier, ils constatent une corrélation positive entre l'amélioration des compétences et l'investissement en informatique et en R-D, qu'ils utilisent comme indicateurs du changement technologique. Berman, Bound et Machin (1998) étendent ces travaux aux pays développés et obtiennent des résultats semblables; Betts (1997) examine les industries manufacturières canadiennes et présente des résultats à l'appui du changement technologique axé sur les compétences; Kahn et Lim (1998) affirment que la croissance de la productivité est concentrée dans les industries manufacturières à fort coefficient de compétences; enfin, Machin et Van Reenen (1998) observent un lien significatif entre le relèvement des compétences et l'intensité de la R-D[28]. Cependant, il n'est pas clair que cela représente vraiment un changement technologique axé sur les compétences plutôt qu'une complémentarité capital-compétences dans un cadre néoclassique. Dans l'étude de Berman, Bound et Griliches (1994) et celle de Machin et Van Reenen (1998), par exemple, les investissements en ordinateurs et en R-D sont utilisés comme principaux indicateurs de la technologie, mais on pourrait aussi considérer qu'il s'agit de formes particulières d'investissement et de biens en capital.

Une question connexe a trait à la façon dont l'investissement influe sur la structure salariale. Dans le modèle néoclassique, l'investissement et l'accumulation du capital haussent la productivité du travail et, comme tous les intrants reçoivent des paiements factoriels égaux à leur produit marginal, cela suppose une augmentation directe de la rémunération. Des travaux de recherche récents ont montré que les investissements nouveaux, notamment en technologie de l'information, ont plus de chance d'être utilisés par des travailleurs hautement scolarisés et peuvent ainsi contribuer à augmenter la prime salariale associée à la scolarité. De même, le changement technique axé sur les compétences devrait accroître la productivité et le rendement de la main-d'œuvre hautement qualifiée.

Krueger (1993) examine cette question et évalue la prime salariale liée à l'utilisation de l'informatique à entre 10 et 15 p. 100; il en conclut que l'informatisation accrue compte pour une part importante du rendement accru de l'éducation. Mais dans une critique convaincante, DiNardo et Pischke (1997) interprètent les résultats de Krueger comme la preuve d'une hétérogénéité non observée qui peut ne pas être liée à l'ordinateur en tant que tel; ils représenteraient une rétribution sur le marché du travail. De même, Bartel et Sicherman (1997) arrivent à la conclusion que les primes salariales traduisent principalement la sélection des travailleurs et des caractéristiques non observées. Murphy, Riddell et Romer (1998) affirment que le progrès technologique a haussé la demande relative de travailleurs qualifiés aux États-Unis et au Canada. Autor, Katz et Krueger (1998) signalent que le déplacement vers la main-d'œuvre plus qualifiée se poursuit depuis des décennies et ils sont d'avis que la hausse récente de la proportion de travailleurs hautement qualifiés est plus marquée dans les industries qui utilisent intensément l'ordinateur, bien qu'ils prennent soin d'évoquer la possibilité d'un phénomène de causalité inverse.

Conformément à la théorie économique traditionnelle, ces résultats font voir une prime salariale pour la scolarité et les compétences. Bien qu'il y ait un certain désaccord sur la possibilité que cette prime traduise des caractéristiques non observées de la main-d'œuvre, des erreurs de mesure des investissements complémentaires ou un changement technologique axé sur les compétences, les observations empiriques concordent. De plus, la distinction entre la qualité du capital et la technologie est en partie sémantique, ce qui a suscité beaucoup de confusion dans les travaux publiés. Cette question est examinée ci-après.

Reprise de la « controverse de l'intégration »

Les économistes ont consacré des efforts considérables à tenter de départager les sources de changement technologique et de croissance de la productivité. Comme nous l'avons déjà indiqué, le cadre néoclassique moderne rajuste explicitement les intrants pour tenir compte de l'évolution de la qualité et considère le progrès technologique comme un phénomène exogène, tandis que la nouvelle théorie de la croissance interprète le progrès technologique comme une conséquence des retombées, des rendements croissants, etc. Mais selon un autre point de vue, le progrès technologique est intégré aux machines et au matériel nouveaux, ce qui signifie que l'investissement doit influer sur la production et la productivité. Dans des articles portant à réflexion, Greenwood, Hercowitz et Krusell (1997) et Hercowitz (1998) ont récemment replacé ce débat au centre des préoccupations en ravivant la controverse de l'intégration[29].

L'idée de l'intégration remonte au moins à Solow (1960); celui-ci affirmait que le changement technologique était « intégré » aux nouveaux biens d'investissement, lesquels sont donc nécessaires pour récolter les avantages du progrès technique. En réponse, Jorgenson (1966) a montré que cela ne pouvait être dissocié de la vision néoclassique du changement technologique exogène et dépendait de façon critique de la façon dont les prix des investissements sont calculés, ce qui amenait l'auteur à conclure que l'on peut éliminer entièrement la croissance de la productivité totale des facteurs en « rajustant » le prix mesuré des biens d'investissement (p. 7). Autrement dit, en rajustant les intrants en capital pour tenir compte de l'évolution de la qualité, la croissance de la production et de la productivité est imputée à l'accumulation des intrants et non au résidu représentant la productivité totale des facteurs (PTF). Cette correspondance a engendré une certaine confusion sémantique parce que le même phénomène peut être assimilé soit à l'accumulation des intrants soit à la croissance de la PTF, selon la façon dont les déflateurs des prix des produits et des facteurs entrent dans l'analyse. Une conclusion importante à laquelle en arrive Jorgenson est que l'investissement en tant qu'intrant (par l'accumulation du capital) et en tant que produit devrait être rajusté pour tenir compte de l'évolution de la qualité.

Dans le débat sur le caractère approprié des déflateurs des prix des ordinateurs rajustés pour tenir compte de la qualité, Hulten (1992) présente une dérivation détaillée de la comptabilité de la croissance et montre que si l'on néglige de tenir compte de l'évolution de la qualité dans l'investissement,

on supprime du même coup les effets qualitatifs dans le résidu traditionnel représentant la productivité totale des facteurs (p. 976). Il est à noter que ce genre de rajustement qualitatif traduit l'amélioration de la productivité de biens particuliers et diffère de la substitution entre des biens en capital hétérogènes, décrite précédemment.

Greenwood, Hercowitz et Krusell (1997) et Hercowitz (1998) reconnaissent ce point de vue mais s'en dissocient, en attribuant 60 p. 100 de la croissance de la productivité durant la période d'après-guerre au changement technologique inhérent à l'investissement, qui est distinct sur le plan conceptuel de l'accumulation du capital et du changement technologique non intégré. Ils affirment notamment que les indices de prix à qualité constante sont appropriés pour déflater les intrants d'investissement, mais non pour déflater l'investissement en tant que produit. Selon cette vision inspirée de l'économie du bien-être, la production réelle devrait être mesurée en fonction des unités de consommation sacrifiées, de telle manière que l'investissement nominal soit déflaté par le prix des biens de consommation.

En guise de preuve, Greenwood, Hercowitz et Krusell (1997) citent Gordon (1990), qui a estimé que le prix relatif du matériel aux États-Unis avait diminué de 3 p. 100 par année au cours de la période d'après-guerre. Mais c'est là une façon un peu déroutante d'invoquer les données de Gordon, dont l'effort monumental visait à construire de meilleures mesures des prix de la production et qui affirmait explicitement que les indices de prix des intrants et des produits traitent les changements qualitatifs de façon cohérente (p. 52). En outre, l'approche de Greenwood, Hercowitz et Krusell brise le lien entre les sources de croissance (le travail, le capital et la technologie) et les utilisations de la croissance (les biens de consommation et d'investissement) qui sont les éléments constituants d'un modèle exhaustif de la production et du bien-être.

Le débat opposant le progrès technologique intégré et non intégré soulève manifestement une question théorique difficile à résoudre et il est loin d'être tranché. Cependant, il semblerait que la solution passe par la construction d'un modèle sectoriel complet qui ferait explicitement la distinction entre la productivité totale des facteurs des biens dans la production de biens d'investissement de la productivité du travail dans l'utilisation des biens d'investissement[30]. Le règlement définitif de cette controverse dépasse toutefois la portée du présent examen et constitue donc un important domaine de recherche pour l'avenir.

Données sur l'investissement et la productivité au niveau de l'établissement

La disponibilité récente de vastes bases de données longitudinales, notamment la Longitudinal Research Database (LRD) sur les États-Unis que gère le U.S. Census Bureau, a ouvert une nouvelle piste d'exploration des liens entre l'investissement et la productivité. Une bonne partie des travaux examinés précédemment se situent au niveau de l'industrie ou de l'ensemble de l'économie, ce qui peut masquer d'importantes variations dans les relations économiques. De même, le travail théorique et empirique de Caballero, Engel et Haltiwanger (1995) et d'autres souligne l'importance d'adopter une perspective microéconomique sur la dynamique de l'investissement[31]. Puisque la base de données LRD englobe un très grand nombre d'établissements manufacturiers observés à intervalles de cinq ans sur un long horizon temporel, elle peut nous livrer de nouveaux enseignements sur les rouages de la productivité[32].

Dans un article influant, Baily, Hulten et Campbell (1992) ont exploré la dynamique de la croissance de la productivité au niveau de l'usine et observé des effets importants propres à l'entreprise, le rôle important du remplacement des usines à faible productivité par celles ayant une productivité élevée et une association étroite entre la productivité relative et les salaires relatifs. Ils ont aussi trouvé des preuves des « effets de génération » – le fait que les anciennes usines sont systématiquement moins productives que les nouvelles – même si la contribution du capital à la production est modeste. Jensen, McGuckin et Stiroh (1998) présentent des données plus récentes sur ce genre d'effet de génération, alors que les cohortes récentes, qui ont accès à une génération moderne d'usines et de capital matériel, atteignent des niveaux supérieurs de productivité.

Power (1998) utilise les données de la LRD pour étudier la relation entre investissement et productivité. Après avoir neutralisé les effets des caractéristiques pertinentes, elle ne trouve aucune corrélation entre la productivité et les mesures de l'investissement récent en matériel. Ces résultats étonnants laissent penser que d'autres caractéristiques au niveau de l'usine, par exemple la localisation et la gestion, exercent une influence plus déterminante sur la productivité et elle s'interroge sur l'importance de l'investissement en tant que source de productivité. Mais ces résultats défient l'intuition et des travaux beaucoup plus poussés s'imposent avant qu'on puisse les considérer comme un fait établi ou les intégrer aux politiques. Ils doivent notamment être conciliés

avec les travaux théoriques qui donnent des prévisions opposées et faire l'objet d'une vérification à l'aide d'autres méthodes d'analyse et bases de données.

Les déterminants de l'investissement

Pour terminer, il importe de souligner que, dans cette étude, nous nous sommes intéressés surtout à l'impact de l'investissement sur la productivité, mais sans traiter des facteurs microéconomiques tels que la politique fiscale, le coût des éléments de capital ou les caractéristiques du marché du capital qui influent sur les décisions d'investissement. Autrement dit, nous nous sommes attardés aux effets de l'investissement, mais non à ses causes. Cela est manifestement important pour la compréhension du rôle joué par l'investissement en tant que source de croissance et une abondante littérature explore cette question. Cummins, Hassett et Hubbard (1994), Hassett et Hubbard (1996) et Hubbard (1998) renferment des analyses récentes ainsi qu'une compilation des études pertinentes.

4. CONCLUSIONS ET RECHERCHES FUTURES

Ce document donne un aperçu général des travaux théoriques récents qui lient l'investissement à la productivité et il résume certaines des données empiriques correspondantes. Bien que différentes écoles de pensée insistent sur des mécanismes de transmission différents et que certains résultats empiriques ne soient pas définitifs, une conclusion universelle semble se dégager : l'investissement défini au sens large est le facteur primordial de l'augmentation de la productivité; il est à l'origine de la croissance économique et contribue à l'amélioration du niveau de vie. En outre, le modèle néoclassique de l'investissement et du capital au sens large, qui prévoit des rendements principalement internes, semble offrir la meilleure explication des variations observées de la productivité.

Les nombreux auteurs dont les travaux sont examinés ci-dessus ont fait des progrès considérables en vue d'améliorer notre compréhension de ce sujet particulièrement important, mais de nombreuses questions demeurent sans réponse et beaucoup plus de recherches sont requises. Dans le reste du chapitre, nous décrivons quelques questions qu'il semble conceptuellement pertinent et réaliste de soumettre à la recherche.

Quelle est l'importance des effets non traditionnels qui forment une part si déterminante des écrits sur la nouvelle théorie de la croissance? Les données dont nous disposons laissent penser que les avantages de l'investissement profitent principalement aux agents économiques qui sont à l'origine de l'investissement, mais il est possible que des problèmes de mesure et d'identification difficiles à résoudre masquent l'importance des retombées. Des chercheurs renommés ont exploré cette question avec un certain succès, mais il faudrait disposer de résultats supplémentaires provenant de toute une gamme de méthodologies et de bases de données pour étayer une thèse convaincante en ce sens. Ce sujet est d'autant plus pertinent qu'il soulève directement des questions de politique, notamment en regard des stimulants fiscaux et des subventions à certaines activités d'investissement, et qu'il pose la question du rôle éventuel de la prestation publique de certaines formes d'investissement en capital, par exemple au niveau de l'infrastructure ou de la R-D.

Quelle est la contribution des différentes formes d'investissement et de capital à la croissance de la productivité? Il semble clair, pour des motifs à la fois théoriques et empiriques, que la définition élargie de l'investissement est la notion appropriée dans ce contexte. Ainsi, l'investissement en capital humain suppose un sacrifice de la consommation actuelle au profit de la consommation

future et il serait trompeur de négliger cette contribution. Étant donné la forte corrélation entre les diverses formes d'investissement, toute tentative en vue de mesurer l'effet d'un investissement sur la productivité doit partir d'une spécification étendue intégrant des rajustements pour tenir compte de la qualité. Si on néglige de le faire, les estimations de l'importance des variables incluses pourront être biaisées et mener à des erreurs sur le plan des politiques.

Pourquoi la productivité est-elle si léthargique dans le secteur des services? En dépit de l'investissement massif en biens de haute technologie, la croissance mesurée de la productivité du travail y demeure bien inférieure à celle du secteur manufacturier dans la plupart des pays développés. La recherche future devra tenter de déterminer si cela traduit des déficiences au niveau des données, par exemple un manque de sondages et de recensements, une aggravation des problèmes de mesure, ou encore une divergence réelle des tendances de la productivité. Une piste de recherche prometteuse serait de tenter de rapprocher les résultats au niveau de l'économie et de l'industrie et ceux provenant d'études microéconomiques réalisées à l'aide des nouvelles bases de données longitudinales sur les services, ou d'études sur des entreprises fondées sur d'autres sources de données. À titre d'exemple, de nombreuses études ont été consacrées à l'industrie bancaire aux États-Unis en raison de la grande quantité de données disponibles auprès des organismes de réglementation. Ces bases de données microéconomiques offrent une autre façon d'explorer le caractère plausible de la croissance léthargique de la productivité qui ressort au niveau sectoriel et au niveau agrégé.

Quelle est l'incidence économique de la révolution informatique? Bien que le modèle néoclassique simple de la substitution des intrants réussisse à expliquer en bonne partie le comportement des entreprises et des ménages, l'intensification généralisée du capital doit être conciliée avec la croissance léthargique de la productivité du travail. Comme nous l'avons déjà indiqué, la recherche future doit s'attaquer à cette question dans le contexte d'un modèle comportant une spécification large, rajusté pour tenir compte de la qualité afin de mesurer correctement l'incidence de la révolution informatique. En outre, parce que les ordinateurs sont fortement concentrés dans les industries de services, cette question est étroitement liée à celle de la croissance léthargique de la productivité dans ce secteur d'activité.

L'amélioration rapide de la qualité et la baisse correspondante des prix des ordinateurs aux États-Unis représentent-elles un phénomène unique?

Une bonne partie des travaux empiriques sur le paradoxe de la productivité de l'informatique a été réalisée aux États-Unis, où le fait dominant est la baisse spectaculaire du prix des ordinateurs, à qualité constante. Wyckoff (1995) montre qu'une tendance dominante comme celle-là peut avoir une incidence profonde sur la mesure de la croissance de la productivité, même au niveau sectoriel, et doit donc être prise en compte dans toute comparaison internationale. Selon van Ark (1996), seuls l'Australie et le Canada ont intégré des indices de prix hédonistes pour les ordinateurs semblables à ceux employés aux États-Unis. Les travaux de recherche futurs qui visent à comparer l'impact de l'ordinateur sur la productivité entre divers pays doivent donc aborder la question de la déflation des prix et déterminer la façon appropriée de tenir compte des différences existantes dans les méthodologies de calcul des prix. Ainsi, étant donné que les États-Unis sont un important exportateur de matériel informatique, est-il approprié d'utiliser le déflateur des États-Unis dans les autres pays? Par contre, les pays moins développés achètent peut-être un panier différent ou une génération différente de matériel; l'utilisation du déflateur des États-Unis entraînerait alors une surestimation des améliorations qualitatives dans ces pays. En définitive, cette question ne peut être résolue que sur le plan empirique, pays par pays.

Que nous disent les bases de données microéconomiques que les bases de données agrégées ne peuvent nous révéler? La création récente de bases de données longitudinales a suscité de nouvelles recherches qui montrent que les données agrégées masquent une bonne partie de la réalité derrière la dynamique de la productivité. Ces travaux ont aussi fait surgir de nouvelles questions et laissé entrevoir de nouveaux sujets d'analyse. Ainsi, les constatations récentes de Power (1998), à savoir que l'investissement n'est pas une source de productivité au niveau de l'usine, doivent être examinées plus attentivement et étayées par des résultats obtenus à l'aide d'autres méthodologies et bases de données.

Quelle est la part de réalité dans la controverse sur le changement technologique intégré et quelle est la façon appropriée de trancher cette question? Quarante ans après les travaux de Solow, l'importance relative du progrès technique intégré et non intégré donne toujours lieu à un débat animé. Cette problématique est-elle illusoire au sens où des visions concurrentes apposent simplement des étiquettes différentes au même phénomène? Ou, au contraire, y a-t-il des différences conceptuelles plus fondamentales à la base du débat? Bien que la tâche paraisse redoutable, une modélisation de ce débat dans un cadre familier, où l'on pourrait examiner chaque point de vue et départager les divergences sémantiques des divergences réelles, représenterait une contribution théorique utile.

NOTES

1 Voir Jorgenson (1996) pour une analyse du regain de popularité de la théorie de la croissance, Barro et Sala-i-Martin (1995) pour une analyse détaillée du cadre néoclassique, Aghion et Howitt (1998) pour un examen détaillé des différentes variantes de la nouvelle théorie de la croissance, ainsi que Klenow et Rodriguez-Clare (1997) et Mankiw (1995) pour une comparaison des modèles de croissance néoclassique et endogène.

2 Il s'agit d'un changement assez simple pour permettre à la technologie d'enrichir le travail, ou de le rendre « neutre au sens de Harrod », de sorte que la fonction de production soit $Y = f(K,AL)$.

3 Cela influe aussi sur le niveau de vie, mesuré en fonction du revenu par habitant. Voir McGuckin et van Ark (1999) pour des estimations internationales montrant comment ces valeurs peuvent différer sur le plan empirique en raison des écarts de chômage, de taux de participation à la population active, etc.

4 Par exemple, Stiroh (1998b) retrace l'évolution des modèles de projection à long terme utilisés par divers organismes du gouvernement américain, notamment la Social Security Administration, le Congressional Budget Office, le Office of Management and Budget et le General Accounting Office, et montre qu'ils sont tous solidement ancrés dans cette tradition néoclassique.

5 Mankiw (1995) examine les objections empiriques à ce modèle néoclassique, notamment aux pages 280-289.

6 Il faut souligner que Solow (1957) favorisait ouvertement l'utilisation du flux annuel des services du capital, mais que les contraintes de données l'ont forcé à utiliser les mesures moins utopiques du stock de biens en capital (p. 313).

7 Griliches (1996) présente un résumé des premiers travaux sur le capital humain.

8 Dans un travail antérieur, Lucas (1988) a intégré le capital humain dans un modèle de croissance, mais en incluant explicitement un effet lié aux

retombées externes; ce modèle est examiné plus loin dans le contexte de la nouvelle théorie de la croissance.

9 Griliches (1994, 1995) et Hall (1996) présentent des comptes rendus détaillés de la documentation empirique.

10 Griliches (1995) utilise la lettre *K* pour représenter le capital de R-D, mais nous l'avons remplacée par *R* pour éviter toute confusion.

11 Le compte rendu de la conférence présenté dans Munnell (1990) explore ces questions. Aaron (1990), notamment, est un bon exemple des importantes critiques faites à l'endroit des travaux de Aschauer. Gramlich (1994) et Binder et Smith (1996) présentent des compilations plus récentes.

12 Mankiw (1995) présente un argument semblable dans son examen du problème des « degrés de liberté », dans le contexte de l'interprétation des régressions transversales de la croissance. Wolff (1996) constitue une exception notable; il inclut les dépenses de R-D, le niveau moyen de scolarité et l'âge du stock de capital en tentant d'expliquer le ralentissement de la productivité.

13 Les simplifications suivantes sont inspirées de Romer (1994), qui résume l'évolution des modèles de croissance endogène.

14 Coe et Helpman (1995) font valoir ce point de façon explicite (p. 875).

15 Good, Nadiri et Sickles (1996), Hall (1996) et Griliches (1992, 1994, 1995) sont des exemples récents.

16 Good, Nadiri et Sickles (1996) affirment que la plupart de ces études récentes convergent vers l'existence d'un effet lié aux retombées de la R-D sur la croissance de la productivité de l'industrie ou de l'économie réceptrice (p. 39); Griliches (1992) affirme pour sa part qu'en dépit des nombreuses difficultés, diverses études raisonnablement bien exécutées pointent toutes dans la même direction : les retombées de la R-D existent, elles peuvent être assez importantes et les taux de rendement social demeurent sensiblement plus élevés que les taux de rendement privé (p. 43).

17 Griliches (1994) anticipe ce résultat lorsqu'il souligne qu'il n'y a pas de raison de penser que les externalités liées aux connaissances ont fléchi au cours des vingt dernières années parallèlement au ralentissement de la croissance de la productivité globale.

18 Brynjolffson et Yang (1996) résument les travaux empiriques récents, Sichel (1997b) présente une analyse générale de l'incidence des ordinateurs, tandis que Triplett (1999a) présente une critique détaillée des explications courantes.

19 Voir Thomas et Kowal (1999) pour des estimations récentes des prix des ordinateurs dans la série statistique de l'indice des prix des producteurs.

20 La nécessité de rajuster la production d'ordinateurs pour tenir compte de l'évolution de la qualité fait l'objet d'un consensus assez vaste, mais il y a des opinions dissidentes. Denison (1989), par exemple, présente un argument qui va directement à l'encontre des indices de prix à qualité constante pour les ordinateurs.

21 Ces différences empiriques traduisent principalement les périodes et les types de production étudiés. Ainsi, Haimowitz (1998) s'intéresse à la production commerciale non agricole, tandis que Jorgenson et Stiroh (1999, 2000) utilisent une notion étendue de la production qui englobe des valeurs imputées pour les biens de consommation durables et le logement. En outre, Jorgenson et Stiroh (2000) utilisent des données postérieures à la révision repère faite par le BEA en 1999, laquelle classe les logiciels dans une catégorie distincte de biens d'investissement.

22 Au bout du compte, on voudrait répondre à une question difficile : à quel rythme la productivité du travail aurait-elle progressé en l'absence des ordinateurs – mais la tâche est en effet ardue. Ainsi, la progression fulgurante de la puissance de calcul a suivi à peu près en parallèle le ralentissement de la productivité et il importe de bien distinguer l'incidence des ordinateurs sur la productivité de celle de toute une gamme d'autres facteurs examinés dans ce contexte. Voir *The Decline in Productivity Growth*, Federal Reserve Bank of Boston, Conference Series n° 22 (1980), Baily et Gordon (1988), Baily et Schultze (1990), Wolff (1996) et Gera, Gu et Lee (1998), qui constituent quelques exemples de l'abondante littérature consacrée au ralentissement de la productivité.

23 Brynjolffson et Yang (1996) passent en revue cette question.

24 Oliner (1993, 1994) présente certains détails sur la dépréciation des ordinateurs.

25 Voir Greenlees et Mason (1996) pour plus de détails.

26 Gordon (1989) présente un historique du début de l'évolution des prix et de la diffusion des ordinateurs.

27 Binswanger (1974) renferme des détails à ce sujet.

28 Sur une note historique, Goldin et Katz (1998) présentent des données sur la complémentarité capital-compétences et sur le changement technologique axé sur les compétences aux États-Unis pour la période 1909-1940.

29 Van Ark (1996) analyse cette controverse dans le contexte des comparaisons internationales de la productivité.

30 À noter que Greenwood, Hercowitz et Krusell (1997) calibrent un modèle simple à deux secteurs mais ne l'intègrent pas pleinement à leurs travaux empiriques sur les sources de la croissance.

31 Caballero (1997) présente un examen des travaux publiés sur cette question.

32 Jensen et McGuckin (1997) présentent un examen des travaux empiriques.

BIBLIOGRAPHIE

Aaron, Henry J., « Discussion of 'Why is Infrastructure Important?' », paru dans *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?*, publié sous la direction de Alicia H. Munnell, collection Conference, n° 34, Federal Reserve Bank of Boston, 1990, p. 51-63.

Abel, Andrew B., « Discussion of 'Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus' », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1992, p. 200-205.

Aghion, Philippe et Peter Howitt, « A Model of Growth Through Creative Destruction », *Econometrica*, vol. 60, 1992, p. 323-350.

_____, *Endogenous Growth Theory*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1998.

Arrow, Kenneth J., « The Economic Implications of Learning by Doing », *Review of Economic Studies*, vol. 29, juin 1962, p. 155-173.

Aschauer, David, « Is Public Expenditure Productive? », *Journal of Monetary Economics*, vol. 23, n° 2, 1989a, p. 177-200.

_____, « Does Public Capital Crowd Out Private Capital? », *Journal of Monetary Economics*, vol. 24, n° 2, 1989b, p. 171-188.

_____ , « Why is Infrastructure Important? », paru dans *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?*, publié sous la direction de Alicia H. Munnell, collection Conference, n° 34, Federal Reserve Bank of Boston, 1990, p. 21-50.

Auerbach, Alan J., Kevin A. Hassett et Stephen D. Oliner, « Reassessing the Social Returns to Equipment Investment », *Quarterly Journal of Economics*, vol.109, n° 3, 1994, p. 789-802.

Autor, David, Lawrence F. Katz et Alan Krueger, « Computing Inequality: Have Computers Changed the Labor Market? », *Quarterly Journal of Economics*, vol.113, n° 4, novembre 1998, p. 1169-1214.

Baily, Martin Neil et Robert J. Gordon, « The Productivity Slowdown and Explosion of Computer Power », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1988, p. 1-45.

Baily, Martin Neil, Charles Hulten et David Campbell, « Productivity Dynamics in Manufacturing Plants », *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1992, p.187-249.

Baily, Martin Neil et Charles L. Schultze, « The Productivity of Capital in a Period of Slower Growth », *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1990, p. 369-406.

Barro, Robert J., « Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth », *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 5, 2e partie, 1990, p. S103-125.

Barro, Robert J. et Xavier Sala-i-Martin, *Economic Growth*, McGraw-Hill, New York, 1995.

Bartel, Ann P. et Nachum Sicherman, « Technological Change and Wages: An Inter-Industry Analysis », NBER Working Paper, n° 5941, février 1997.

Basu, Susanto, « Discussion of 'Technology in Growth Theory' », paru dans *Technology and Growth*, publié sous la direction de Jeffrey C. Fuhrer et Jane Sneddon Little, collection Conference, n° 40, Federal Reserve Bank of Boston, 1996, p. 78-82.

Becker, Gary, « Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis », *Journal of Political Economy*, vol. 70, 1962, p. 9-49.

Berman, Eli, John Bound et Zvi Griliches, « Changes in the Demand for Skilled Labor within US Manufacturing Industries: Evidence from the Annual Survey of Manufacturing », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 109, 1994, p. 367-398.

Berman, Eli, John Bound et Stephen Machin, « Implications of Skill-Biased Technological Change: International Evidence », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, n° 4, novembre 1998, p. 1245-1280.

Berndt, Ernst R. et Catherine J. Morrison, « High-Tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries: An Exploratory Analysis », *Journal of Econometrics*, vol. 65, 1995, p. 9-43.

Betts, Julian, « The Skill Bias of Technological Change in Canadian Manufacturing Industries », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, n° 1, février 1997, p. 146-150.

Billings, Anthony B., « Capital Allocation: How the US Compares with Other Major Industrialized Nations », *Applied Economics*, vol. 28, 1996, p. 353-362.

Binder, Susan J. et Theresa M. Smith, « The Linkage Between Transportation Infrastructure Investment and Productivity: A U.S. Federal Research Perspective », paru dans *Transportation Infrastructure Investment and Productivity*, publié sous la direction de David F. Batten et Charlie Karlsson, Heidelberg and Springer, New York, 1996.

Binswanger, Hans, « The Measurement of Technical Biases with Many Factors of Production », *American Economic Review*, vol. 64, décembre 1974, p. 964-976.

Black, Sanda E. et Lisa M. Lynch, « Human Capital Investments and Productivity », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 86, n° 2, mai 1996, p. 263-267.

Boskin, Michael J. et Lawrence J. Lau, « Contributions of R&D to Economic Growth », paru dans *Technology, R&D and the Economy*, publié sous la direction de Bruce L. R. Smith et Claude E. Barfield, The Brookings Institution and American Enterprise Institute, Washington (D.C.), 1996, p. 75-107.

Braverman, Harry, « Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century », *New York Monthly Review*, 1974.

Bresnahan, Timothy F. et Manuel Trajtenberg, « General Purpose Technologies — Engines of Growth? », *Journal of Econometrics*, vol. 65, 1995, p. 83-108.

Brown, Lynne Elaine et Rebecca Hellerstein, « Are We Investing Too Little? », *New England Economic Review*, novembre-décembre 1997, p. 29-50.

Brynjolffson, Erik et Lorin Hitt, « Is Information Systems Spending Productive? New Evidence and New Results », *Proceedings of the 14th International Conference on Information Systems*, 1993.

_____, « Information Technology as a Factor of Production: The Role of Differences Among Firms », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, nos 3-4, 1995, p.183-199.

_____, « Paradox Lost? Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending », *Management Science*, avril 1996.

Brynjolffson, Erik et Shinkyu Yang, « Information Technology and Productivity », *Advances in Computers*, vol. 43, 1996, p. 179-214.

_____, « The Intangible Benefits and Costs of Computer Investments: Evidence from the Financial Markets », *Proceedings of the International Conference on Information Systems*, 1997.

Caballero, Ricardo J., « Aggregate Investment », NBER Working Paper, n° 6264, 1997; à paraître dans *Handbook of Macroeconomics*, publié sous la direction de John Taylor et Michael Woodford.

Caballero, Ricardo J., Eduardo M.R.A. Engel et John C. Haltiwanger, « Plant-Level Adjustment and Aggregate Investment Dynamics », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1995, p. 1-54.

Cassou, Steven P. et Kevin J. Lansing, « Optimal Fiscal Policy, Public Capital, and the Productivity Slowdown », *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 22, 1998, p. 911-935.

Cobb, Charles W. et Paul A. Douglas, « A Theory of Production », *American Economic Review*, vol. 28, n° 1, mars 1928, p. 139-165.

Coe, David T. et Elhanan Helpman, « International R&D Spillovers », *European Economic Review*, vol. 39, 1995, p. 859-887.

Cole, Roseanne et coll., « Quality Adjusted Price Indexes for Computer Processors and Selected Peripheral Equipment », *Survey of Current Business*, vol. 66, n° 1, janvier 1986, p. 28-45.

Collins, Susan M. et Barry P. Bosworth, « Economic Growth in East Asia: Accumulation versus Assimilation », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1996, p. 135-203.

Cummins, Jason G., Kevin A. Hassett et R. Glenn Hubbard, « A Reconsideration of Investment Behavior Using Tax Reforms as Natural Experiments », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1994, p. 1-74.

David, Paul A., « Computer and Dynamo: The Modern Productivity Paradox in a Not-Too-Distant Mirror », Center for Economic Policy Research, publication 172, 1989.

_____, « The Dynamo and the Computer: A Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 80, n° 2, mai 1990, p. 355-361.

Dean, Edwin R., « The Accuracy of the BLS Productivity Measures », *Monthly Labor Review*, février 1999, p. 24-34.

DeLong, J. Bradford et Lawrence H. Summers, « Equipment Investment and Economic Growth », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 106, n° 2, 1991, p. 445-502.

_____, « Equipment Investment and Economic Growth: How Strong is the Nexus? », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1992, p. 157-199.

_____, « How Strongly Do Developing Countries Benefit from Equipment Investment? », *Journal of Monetary Economics*, vol. 32, 1993, p. 395-415.

Denison, Edward F., *Estimates of Productivity Change by Industry*, The Brookings Institution, Washington (D.C.), 1989.

Diewert, Erwin et Kevin Fox, « Can Measurement Error Explain the Productivity Paradox? », *Revue canadienne d'économique*, vol. 32, n° 2, avril 1999, p. 251-280.

DiNardo, John et Jorn-Steffen Pischke, « The Returns to Computer Use Revisited: Have Pencils Changed the Wage Structure Too? », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 112, février 1997, p. 291-303.

Dougherty, Chrys et Dale W. Jorgenson, « International Comparisons of the Sources of Economic Growth », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 86, n° 2, mai 1996, p. 25-29.

_____, « There is No Silver Bullet: Investment and Growth in the G7 », *National Institute Economic Review*, vol. 16, n° 2, octobre 1997, p. 57-74.

Gera, Surendra, Wulong Gu et Frank C. Lee, « Progrès technique incorporé au capital et ralentissement de la croissance de la productivité au Canada », Document de travail n° 21, Industrie Canada, mars 1998.

_____, « Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States », *Revue canadienne d'économique*, vol. 32, n° 2, avril 1999, p. 384-407.

Goldin, Claudia et Lawrence F. Katz, « The Origins of Technology-Skill Complementarity », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, n° 3, août 1998, p. 693-732.

Good, David H., M. Ishaq Nadiri et Robin C. Sickles, « Index Number and Factor Demand Approaches to the Estimation of Productivity », NBER Working Paper, n° 5790, 1996; à paraître dans *Handbook of Applied Econometrics*, Microeconometrics, vol. 11, publié sous la direction de Hashem Pesaran et Peter Schmidt.

Gordon, Robert J., « The Postwar Evolution of Computer Prices », paru dans *Technology and Capital Formation*, publié sous la direction de Dale W. Jorgenson et Ralph Landau, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1989.

_____, *The Measurement of Durable Goods Prices*, University of Chicago Press, Chicago (Ill.), 1990.

_____, « Monetary Policy in the Age of Information Technology: Computers and the Solow Paradox », présenté à la *Conference on Monetary Policy in a World of Knowledge-Based Growth, Quality Change, and Uncertain Measurement*, Banque du Japon, 18-19 juin 1998.

_____, « U.S. Economic Growth Since 1870: What We Know and Still Need to Know », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 89, n° 2, mai 1999, p. 123-128.

Gramlich, Edward M., « How Should Public Infrastructure Be Financed? », paru dans *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?*, publié sous la direction de Alicia H. Munnell, collection Conference, n° 34, Federal Reserve Bank of Boston, 1990, p. 222-237.

_____, « Infrastructure Investments: A Review Essay », *Journal of Economic Literature*, vol. 32, septembre 1994, p. 1176-1196.

Greenlees, John S. et Charles C. Mason, « Overview of the 1998 Revision of the Consumer Price Index », *Monthly Labor Review*, décembre 1996, p. 3-9.

Greenwood, Jeremy, Zvi Hercowitz et Per Krusell, « Long-Run Implications of Investment-Specific Technological Change », *American Economic Review*, vol. 87, n° 3, juin 1997, p. 342-362.

Griliches, Zvi, « Capital-Skill Complementarity », *Review of Economics and Statistics*, vol. 51, n° 4, novembre 1969, p. 465-468.

_____, « Research Expenditures and Growth Accounting», paru dans *Science and Technology in Economic Growth*, publié sous la direction de B.R. Williams, Macmillan, Londres, 1973, p. 59-95.

_____, « Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth », *Bell Journal of Economics*, vol. 10, n° 1, printemps 1979, p 92-116.

_____, « The Search for R&D Spillovers », *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, 1992, p. 29-47.

_____, « Productivity, R&D, and the Data Constraint », *American Economic Review*, vol. 84, n° 1, mars 1994, p. 1-23.

_____, « R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues », paru dans *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, publié sous la direction de P. Stoneman, Basil Blackwell, Oxford, 1995, p. 52-89.

_____, « Education, Human Capital, and Growth: A Personal Perspective », NBER Working Paper, n° 5426, 1996.

Grossman, Gene M., « Discussion of 'Technology in Growth Theory' », paru dans *Technology and Growth — Conference Proceedings*, publié sous la direction de Jeffrey C. Fuhrer et Jane Sneddon Little, collection Conference, n° 40, Federal Reserve Bank of Boston, 1996, p. 83-89.

Grossman, Gene M. et Elhanan Helpman, *Innovation and Growth in the Global Economy*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1991.

Gullickson, William et Michael J. Harper, « Possible Measurement Bias in Aggregate Productivity Growth », *Monthly Labor Review*, février 1999, p. 47-67.

Haimowitz, Joseph H., « Has the Surge in Computer Spending Fundamentally Changed the Economy? », *Economic Review*, Federal Reserve Bank of Kansas City, 2e trimestre de 1998, p. 27-42.

Hall, Bronwyn H., « R&D Tax Policy in the Eighties: Success or Failure? », *Tax Policy and the Economy*, vol. 7, 1993, p. 1-36.

_____, « The Private and Social Returns to Research and Development », paru dans *Technology, R&D and the Economy*, publié sous la direction de Bruce L.R. Smith et Claude E. Barfield, The Brookings Institution and American Enterprise Institute, Washington (D.C.), 1996, p. 289-331.

Hall, Robert E. et Charles I. Jones, « Why Do Some Countries Produce So Much More Output per Worker than Others? », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 114, 1999.

Hall, Robert E. et Dale W. Jorgenson, « Tax Policy and Investment Behavior », *American Economic Review*, vol. 57, n° 3, juin 1967, p. 391-414.

Hassett, Kevin A. et R. Glenn Hubbard, « Tax Policy and Investment », NBER Working Paper, n° 5683, 1996.

Heckman, James J., Lance Lochner et Christopher Taber, « Tax Policy and Human Capital Formation », NBER Working Paper, n° 6462, mars 1998.

Helpman, Elhanan, *General Purpose Technologies and Economic Growth*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1998.

Hercowitz, Zvi, « The Embodiment Controversy: A Review Essay », *Journal of Monetary Economics*, vol. 41, 1998, p. 217-224.

Ho, Mun et Dale W. Jorgenson, « Policies to Stimulate Economic Growth », Université Harvard, 1999 (manuscrit).

Hsieh, Chang-Tai, « What Explains the Industrial Revolution in East Asia? Evidence from Factor Markets », document de travail, Université de la California, Berkeley, novembre 1997.

Hubbard, R. Glenn, « Capital-Market Imperfections and Investment », *Journal of Economic Literature*, vol. 36, mars 1998, p. 193-225.

Hulten, Charles R., « Growth Accounting When Technical Change is Embodied in Capital », *American Economic Review*, vol. 82, n° 4, septembre 1992, p. 964-980.

_____, « Infrastructure Capital and Economic Growth: How Well You Use It May Be More Important than How Much You Have », NBER Working Paper, n° 5847, 1996.

Jensen, J. Bradford et Robert H. McGuckin, « Firm Performance and Evolution: Empirical Regularities in the US Microdata », *Industrial and Corporate Change*, vol. 6, n° 1, 1997, p. 25-47.

Jensen, J. Bradford, Robert H. McGuckin et Kevin J. Stiroh, « The Impact of Vintage and Survival on Productivity: Evidence from Cohorts of U.S. Manufacturing Plants », The Conference Board, 1998 (manuscrit).

Jones, Charles I., « R&D-Based Models of Economic Growth », *Journal of Political Economy*, vol. 103, août 1995a, p. 759-784.

_____, « Time Series Tests of Endogenous Growth Models », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, mai 1995b, p. 495-525.

_____, « Growth: With or Without Scale Effects », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 89, n° 2, mai 1999, p. 139-144.

Jones, Charles I. et John C. Williams, « Measuring the Social Return to R&D », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, n° 4, novembre 1998, p. 1119-1136.

Jorgenson, Dale W., « The Embodiment Hypothesis », *Journal of Political Economy*, vol. 74, n° 1, février 1966, p. 1-17.

_____, « Productivity and Economic Growth », paru dans *Fifty Years of Economic Measurement*, publié sous la direction de Ernst R. Berndt et Jack E. Triplett, University of Chicago Press, Chicago (Ill.), 1990, p. 19-118.

_____, « Technology in Growth Theory », paru dans *Technology and Growth — Conference Proceedings*, publié sous la direction de Jeffrey C. Fuhrer et Jane Sneddon Little, collection Conference, n° 40, Federal Reserve Bank of Boston, 1996, p. 45-77.

Jorgenson, Dale W. et Zvi Griliches, « The Explanation of Productivity Change », *Review of Economic Studies*, vol. 34, n° 9, juillet 1967, p. 249-280.

Jorgenson, Dale W. et Kevin J. Stiroh, « Computers and Growth », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, n^{os} 3-4, 1995, p. 295-316.

_____, « Information Technology and Growth », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 89, n° 2, mai 1999, p. 109-115.

_____, « U.S. Economic Growth in the New Millennium », 2000 (manuscrit).

Jorgenson, Dale W. et Eric Yip, « Whatever Happened to Productivity Investment and Growth in the G-7? », Harvard University, 1999 (manuscrit).

Jorgenson, Dale W. et Kun-Young Yun, *Tax Reform and the Cost of Capital*, Clarendon Press, Oxford, 1991.

Kahn, James A. et Jong-Soo Lim, « Skilled Labor-Augmenting Technical Progress in U.S. Manufacturing », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, n° 4, novembre 1998, p. 1281-1308.

Keller, Wolfgang, « Are International R&D Spillovers Trade-Related? Analyzing Spillovers among Randomly Matched Trade Partners », *European Economic Review*, vol. 42, 1998, p. 1469-1481.

Kirova, Milka S. et Robert E. Lipsey, « Does the United States Invest 'Too Little'? », Working Paper, n° 97-020a, Federal Reserve Bank of St. Louis, 1997.

_____, « Measuring Real Investment: Trends in the United States and International Comparisons », *Review*, Federal Reserve Bank of St. Louis, janvier-février 1998, p. 3-18.

Klenow, Peter J. et Andres Rodriguez-Clare, « The Neoclassical Revival in Growth Economics: Has it Gone Too Far? », paru dans *NBER Macroeconomics Annual 1997*, publié sous la direction de Ben S. Bernanke et Julio J. Rotemberg, 1997, p. 73-114.

Krueger, Alan B., « How Computers Have Changed the Wage Structure: Evidence from Microdata, 1984-89 », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, n° 1, 1993, p. 33-61.

Krugman, Paul, « The Myth of Asia's Miracle », *Foreign Affairs*, novembre-décembre 1994, p. 62-78.

Lehr, Bill et Frank Lichtenberg, « Information Technology and its Impact on Firm-Level Productivity: Evidence from Government and Private Data Sources, 1977-1993 », *Revue canadienne d'économique*, vol. 32, n° 2, avril 1999, p. 335-362.

Levy, Frank et Richard J. Murnane, « With What Skills are Computers a Complement? », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 86, n° 2, mai 1996, p. 258-262.

Lichtenberg, Frank R., « The Output Contribution of Computer Equipment and Personnel: A Firm-Level Analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, nos 3-4, 1995, p. 201-217.

Lord, William et Peter Rangazas, « Capital Accumulation and Taxation in a General Equilibrium Model with Risky Human Capital », *Journal of Macroeconomics*, vol. 20, n° 3, été 1998, p. 509-531.

Lucas, Robert E. Jr., « On the Mechanics of Economic Development », *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, 1988, p. 3-42.

Machin, Stephen et John Van Reenen, « Technology and Changes in Skill Structure: Evidence from Seven OECD Countries », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, n° 4, novembre 1998, p. 1215-1244.

Maclean, Dinah, « Lagging Productivity Growth in the Service Sector: Mismeasurement, Mismanagement or Misinfomation? », Working Paper, n° 97-6, Banque du Canada, 1997.

Mankiw, N. Gregory, « The Growth of Nations », *Brookings Papers on Economic Activity 1*, 1995, p. 275-326.

Mankiw, N. Gregory, David Romer et David Weil, « A Contribution to the Empirics of Economic Growth », *Quarterly Journal of Economic Growth*, mai 1992, p. 407-438.

McGuckin, Robert H. et Kevin J. Stiroh, « Computers, Productivity, and Growth », *Economic Research Report*, The Conference Board, rapport n° 1213-98-RR, 1998.

_____, « Do Computers Make Output Harder to Measure? », The Conference Board, 1999 (manuscrit).

McGuckin, Robert H., Mary L. Streitwieser et Mark Doms, « The Effect of Technology Use on Productivity Growth », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 7, 1998, p. 1-26.

McGuckin, Robert H. et Bart van Ark, « The Euro's Impact on European Labor Markets », *Perspectives on a Global Economy*, The Conference Board, rapport n° 1236-99-RR, 1999.

Mincer, Jacob, « Investment on Human Capital and Personal Income Distribution », *Journal of Political Economy*, vol. 66, 1958, p. 281-302.

_____, *Schooling, Experience, and Earnings*, Columbia University Press pour le NBER, New York, 1974.

Morrison, Catherine J., « Assessing the Productivity of Information Technology Equipment in U.S. Manufacturing Industries », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, août 1997, p. 471-481.

Morrison, Catherine J. et Amy Ellen Schwartz, « State Infrastructure and Productivity Performance », *American Economic Review*, vol. 86, n° 5, décembre 1996, p.1095-1111.

Morrison, Catherine J. et Donald Siegel, « External Capital Factors and Increasing Returns in U.S. Manufacturing », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, novembre 1997, p. 647-654.

Munnell, Alicia H., dir., *Is There a Shortfall in Public Capital Expenditure?*, collection Conference, n° 34. Federal Reserve Bank of Boston, 1990.

Murphy, Kevin M., W. Craig Riddell et Paul M. Romer, « Wages, Skills, and Technology in the United States and Canada," paru dans *General Purpose Technologies and Economic Growth*, publié sous la direction de Elhanan Helpman, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1998.

Nadiri, M. Ishaq et Theofanis P. Mamuneas, « The Effects of Public Infrastructure and R&D Capital on the Cost Structure and Performance of U.S. Manufacturing Industries », *Review of Economics and Statistics*, vol. 76, n° 1, février 1994, p. 22-37.

Nazmi, Nader et Miguel D. Ramirez, « Public and Private Investment and Economic Growth in Mexico », *Contemporary Economic Policy*, vol. 15, janvier 1997, p. 65-75.

Oliner, Stephen D., « Constant Quality Price Change, Depreciation and Retirement of Mainframe Computers », paru dans *Price Measurement and Their Uses*, publié sous la direction de Murray F. Foss, Marilyn E. Manser et Alan H. Young, University of Chicago Press, Chicago (Ill.), 1993.

_____, « Estimates of Depreciation and Retirement of Computer Peripheral Equipment », 1994 (manuscrit).

Oliner, Stephen D. et Daniel E. Sichel, « Computers and Output Growth Revisited: How Big Is the Puzzle », *Brookings Papers on Economic Activity 2*, 1994, p. 273-317.

_____, « The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? », Federal Reserve Board, février 2000 (manuscrit).

Pilat, Dirk, « Competition, Productivity, and Efficiency », *Revue économique de l'OCDE*, vol. 27, 1996, p. 107-146.

Power, Laura, « The Missing Link: Technology, Investment, and Productivity », *Review of Economics and Statistics*, vol. 80, n° 2, mai 1998, p. 300-313.

Rodrick, Dani, « TFPG Controversies, Institutions, and Economic Performance in East Asia », NBER Working Paper, n° 5914, février 1997.

Romer, Paul, « Increasing Returns and Long-Run Growth », *Journal of Political Economy*, vol. 94, n° 5, octobre 1986, p. 1002-1037.

_____, « Endogenous Technological Change », *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 5, 2e partie, 1990, p. S71-101.

_____, « The Origins of Endogenous Growth », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, n° 1, hiver 1994, p. 3-22.

Sanchez-Robles, Blanca, « Infrastructure Investment and Growth: Some Empirical Evidence, *Contemporary Economic Policy*, vol. 16, janvier 1998, p. 98-108.

Schultz, Theodore W., « Investment in Human Capital », *American Economic Review*, vol. 51, n° 1, mars 1961, p. 1-17.

Segerstrom, Paul S., « Endogenous Growth Without Scale Effects », *American Economic Review*, vol. 88, n° 5, décembre 1998, p. 1290-1310.

Shell, Karl, « Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation », *American Economic Review*, vol. 56, mai 1966, p. 62-68.

Sichel, Daniel E., « The Productivity Slowdown: Is a Growing Unmeasurable Sector the Culprit? », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, n° 3, août 1997a, p. 367-371.

_____, *The Computer Revolution: An Economic Perspective*, The Brookings Institution Press, Washington (D.C.), 1997b.

Siegel, Donald, « The Impact of Computers on Manufacturing Productivity Growth: A Multiple Indicators, Multiple Causes Approach », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, n° 1, février 1997, p. 68-78.

Siegel, Donald et Zvi Griliches, « Purchased Services, Outsourcing, Computers, and Productivity in Manufacturing », paru dans *Output Measurement in the Service Sector*, publié sous la direction de Zvi Griliches, University of Chicago Press, Chicago, 1992.

Solow, Robert M., « A Contribution to the Theory of Economic Growth », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, n° 1, février 1956, p. 56-94.

_____, « Technical Change and the Aggregate Production Function », *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, n° 3, 1957, p. 313-330.

_____, « Investment and Technical Progress," paru dans *Mathematical Methods in the Social Sciences*, publié sous la direction de Kenneth J. Arrow, Samuel Karlin et Patrick Suppes, Stanford University Press, Stanford (Cal.), 1960.

Stiroh, Kevin J., « Computers, Productivity, and Input Substitution », *Economic Inquiry*, vol. 36, n° 2, avril 1998a, p.175-191.

_____, « Long-Run Growth Projections and the Aggregate Production Function: A Survey of Models Used by the U.S. Government », *Contemporary Economic Policy*, vol. 16, octobre 1998b, p. 467-479.

Temple, Jonathan et Hans-Joachim Voth, « Human Capital, Equipment Investment, and Industrialization », *European Economic Review*, vol. 42, 1998, p. 1343-1362.

Thomas, William D. et Joseph Kowal, « Producer Price Highlights, 1998 », *Monthly Labor Review*, juillet 1999, p. 3-14.

Tinbergen, Jan, « Zur Theorie def Langfristigen Wirtschaftsentwicklung », *Weltwirtschafliches Archiv*, vol. 55, n° 1, 1942, p. 511-549.

Triplett, Jack, « High-Tech Industry Productivity and Hedonic Price Indices », *OECD Proceedings: Industry Productivity, International Comparison and Measurement Issues*, 1996, p. 119-142.

_____, « The Solow Productivity Paradox: What Do Computers Do to Productivity? », *Revue canadienne d'économique*, vol. 32, n° 2, avril 1999a.

_____, « Economic Statistics, the New Economy, and the Productivity Slowdown », *Business Economics*, vol. 34, n° 2, avril 1999b, p. 13-17.

U.S. Bureau of Labor Statistics, « International Comparisons of Manufacturing Productivity and Unit Labor Cost Trends, 1997 », USDL 98-393, 25 septembre 1998.

_____, « Productivity and Costs, Preliminary Fourth-Quarter Measures and Annual Averages, 1998 », USDL 99-32, 9 février 1999a.

_____, « Multifactor Productivity Trends », USDL 99-36, 11 février 1999b.

van Ark, Bart, « Issues in Measurement and International Comparison of Productivity », *Industry Productivity: International Comparisons and Measurement Issues*, OCDE, Paris, 1996, p.19-47.

Vijverberg, Wim P.M., Chu-Ping C. Vijverberg et Janet L. Gamble, « Public Capital and Private Productivity », *Review of Economics and Statistics*, vol. 79, n° 2, mai 1997, p. 267-278.

Whelan, Karl, « Computers, Obsolescence, and Growth », Federal Reserve Board, 29 décembre 1999 (manuscrit).

Wolff, Edward N., « Capital Formation and Productivity Convergence Over the Long Term », *American Economic Review*, vol. 81 n° 3, juin 1991, p. 565-579.

_____, « The Productivity Slowdown: The Culprit at Last? Follow-Up on Hulten and Wolff », *American Economic Review*, vol. 86, n° 5, 1996, p. 1239-1252.

Wyckoff, Andrew W., « The Impact of Computer Prices on International Comparisons of Labour Productivity », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, n°s 3-4, 1995, p. 277-294.

Young, Alwyn, « The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience », *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, n° 3, août 1995, p. 641-680.

_____, « Growth Without Scale Effects », *Journal of Political Economy*, vol. 106, n° 1, 1998a, p. 41-63.

_____, « Alternative Estimates of Productivity Growth in the NICs: A Comment on the Findings of Chang-Tai Hsieh », NBER Working Paper, n° 6657, 1998b.

PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA

COLLECTION DOCUMENTS DE TRAVAIL

N° 1 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les tendances de l'investissement étranger direct et les 1 000 entreprises les plus grandes**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment John Knubley, Marc Legault et P. Someshwar Rao, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les multinationales canadiennes : analyse de leurs activités et résultats**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment P. Someshwar Rao, Marc Legault et Ashfaq Ahmad, Industrie Canada, 1994.

N° 3 **Débordements transfrontaliers de R-D entre les industries du Canada et des États-Unis**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 4 **L'impact économique des activités de fusion et d'acquisition sur les entreprises**, Gilles Mcdougall, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La transition de l'université au monde du travail : analyse du cheminement de diplômés récents**, Ross Finnie, École d'administration publique, Université Carleton et Statistique Canada, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **La mesure du coût d'observation lié aux dépenses fiscales : les stimulants à la recherche-développement**, Sally Gunz et Alan Macnaughton, Université de Waterloo, et Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 7 **Les structures de régie, la prise de décision et le rendement des entreprises en Amérique du Nord**, P. Someshwar Rao et Clifton R. Lee-Sing, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 8 **L'investissement étranger direct et l'intégration économique de la zone APEC**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao et Colleen Barnes, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 9 **Les stratégies de mandat mondial des filiales canadiennes**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 10 **R-D et croissance de la productivité dans le secteur manufacturier et l'industrie du matériel de communications au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 11 **Évolution à long terme de la convergence régionale au Canada**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, et Frank C. Lee, Industrie Canada, 1996.

N° 12 **Les répercussions de la technologie et des importations sur l'emploi et les salaires au Canada**, Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 13 **La formation d'alliances stratégiques dans les industries canadiennes : une analyse microéconomique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 14 **Performance de l'emploi dans l'économie du savoir**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Philippe Massé, Développement des ressources humaines Canada, 1996.

N° 15 **L'économie du savoir et l'évolution de la production industrielle**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Kurt Mang, ministère des Finances, 1997.

N° 16 **Stratégies commerciales des PME et des grandes entreprises au Canada**, Gilles Mcdougall et David Swimmer, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 17 **Incidence sur l'économie mondiale des réformes en matière d'investissement étranger et de commerce mises en œuvre en Chine**, Winnie Lam, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Les disparités régionales au Canada : diagnostic, tendances et leçons pour la politique économique**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Retombées de la R-D entre industries et en provenance des États-Unis, production industrielle et croissance de la productivité au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 20 **Technologie de l'information et croissance de la productivité du travail : analyse empirique de la situation au Canada et aux États-Unis**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **Progrès technique incorporé au capital et ralentissement de la croissance de la productivité au Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 23 **La restructuration de l'industrie canadienne : analyse micro-économique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 24 **Les politiques du gouvernement canadien à l'égard de l'investissement étranger direct au Canada**, Steven Globerman, Université Simon Fraser et Université Western Washington, et Daniel Shapiro, Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 25 **Une évaluation structuraliste des politiques technologiques – Pertinence du modèle schumpétérien**, Richard G. Lipsey et Kenneth Carlaw, Université Simon Fraser, avec la collaboration de Davit D. Akman, chercheur associé, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 26 **Commerce intrasociété des entreprises transnationales étrangères au Canada**, Richard A. Cameron, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 27 **La hausse récente des demandes de brevets et la performance des principaux pays industrialisés sur le plan de l'innovation – Tendances et explications**, Mohammed Rafiquzzaman et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 28 **Technologie et demande de compétences : une analyse au niveau de l'industrie**, Surendra Gera et Wulong Gu, Industrie Canada, et Zhengxi Lin, Statistique Canada, 1999.

N° 29 **L'écart de productivité entre les entreprises canadiennes et américaines**, Frank C. Lee et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 30 **Investissement étranger direct et croissance de la productivité : l'expérience du Canada comme pays d'accueil**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 31 **Les entreprises manufacturières sous contrôle canadien sont-elles moins productives que leurs concurrentes scus contrôle étranger?** Someshwar Rao et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 32 **Le paradoxe canado-américain de la croissance de la productivité**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

COLLECTION DOCUMENTS DE DISCUSSION

N° 1 **Les multinationales comme agents du changement : définition d'une nouvelle politique canadienne en matière d'investissement étranger direct**, Lorraine Eden, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Le changement technologique et les institutions économiques internationales**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **La régie des sociétés au Canada et les choix sur le plan des politiques**, Ronald J. Daniels, Faculté de droit, Université de Toronto, et Randall Morck, Faculté d'administration des affaires, Université de l'Alberta, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 4 **L'investissement étranger direct et les politiques d'encadrement du marché : réduire les frictions dans les politiques axées sur la concurrence et la propriété intellectuelle au sein de l'APEC**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 5 **La recherche d'Industrie Canada sur l'investissement étranger : enseignements et incidence sur les politiques**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 6 **Rivalité sur les marchés internationaux et nouveaux enjeux pour l'Organisation mondiale du commerce**, Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Conséquences des restrictions à la propriété étrangère pour l'économie canadienne – Une analyse sectorielle**, Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 8 **Les déterminants de la croissance de la productivité canadienne : enjeux et perspectives**, Richard G. Harris, Université Simon Fraser et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 9 **Le Canada manque-t-il le « bateau technologique »? Examen des données sur les brevets,** Manuel Trajtenberg, Université de Tel-Aviv, National Bureau of Economic Research et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

COLLECTION DOCUMENTS HORS SÉRIE

N° 1 **Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : analyse par pays**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald et Christopher Wilkie, Industrie Canada, 1994.

Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : résumé et conclusions, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes et John Knubley, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les initiatives d'expansion commerciale dans les filiales de multinationales au Canada**, Julian Birkinshaw, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **Le rôle des consortiums de R-D dans le développement de la technologie**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Université Carleton, et Sunder Magun, Centre de droit et de politique commerciale, Université d'Ottawa et Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 4 **Écarts hommes/femmes dans les programmes universitaires**, Sid Gilbert, Université de Guelph, et Alan Pomfret, King's College, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La compétitivité : notions et mesures**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **Aspects institutionnels des stimulants fiscaux à la R-D : le crédit d'impôt à la RS&DE**, G. Bruce Doern, École d'administration publique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 7 **La politique de concurrence en tant que dimension de la politique économique : une analyse comparative**, Robert D. Anderson et S. Dev Khosla, Direction de l'économique et des affaires internationales, Bureau de la politique de concurrence, Industrie Canada, 1995.

N° 8 **Mécanismes et pratiques d'évaluation des répercussions sociales et culturelles des sciences et de la technologie**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 9 **Sciences et technologie : perspectives sur les politiques publiques**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 10 **Innovation endogène et croissance : conséquences du point de vue canadien**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal et Institut canadien des recherches avancées, et Elhanan Helpman, Université de Tel-Aviv et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 11 **Les rapports université-industrie en sciences et technologie**, Jérôme Doutriaux, Université d'Ottawa, et Margaret Barker, Meg Barker Consulting, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 12 **Technologie et économie : examen de certaines relations critiques**, Michael Gibbons, Université de Sussex, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 13 **Le perfectionnement des compétences des cadres au Canada**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 14 **Le facteur humain dans le rendement des entreprises : stratégies de gestion axées sur la productivité et la compétitivité dans l'économie du savoir**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 15 **Les charges sociales et l'emploi : un examen de la documentation**, Joni Baran, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 16 **Le développement durable : concepts, mesures et déficiences des marchés et des politiques au niveau de l'économie ouverte, de l'industrie et de l'entreprise**, Philippe Crabbé, Institut de recherche sur l'environnement et l'économie, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 17 **La mesure du développement durable : étude des pratiques en vigueur**, Peter Hardi et Stephan Barg, avec la collaboration de Tony Hodge et Laszlo Pinter, Institut international du développement durable, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Réduction des obstacles réglementaires au commerce : leçons à tirer de l'expérience européenne pour le Canada**, Ramesh Chaitoo et Michael Hart, Centre de droit et de politique commerciale, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Analyse des mécanismes de règlement des différends commerciaux internationaux et conséquences pour l'Accord canadien sur le commerce intérieur**, E. Wayne Clendenning et Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 20 **Les entreprises autochtones : caractéristiques et stratégies de croissance**, David Caldwell et Pamela Hunt, Centre de conseils en gestion, dans le cadre d'un contrat avec Entreprise autochtone Canada, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **La recherche universitaire et la commercialisation de la propriété intellectuelle au Canada**, Wulong Gu et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 22 **La comparaison des niveaux de vie au Canada et aux États-Unis – Une perspective régionale**, Raynald Létourneau et Martine Lajoie, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 23 **Liens entre changement technologique et croissance de la productivité**, Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 24 **Investissement et croissance de la productivité – Étude inspirée de la théorie néoclassique et de la nouvelle théorie de la croissance**, Kevin J. Stiroh, Federal Reserve Bank de New York, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

COLLECTION LE CANADA AU 21e SIÈCLE

N° 1 **Tendances mondiales : 1980-2015 et au delà**, J. Bradford DeLong, Université de la Californie, Berkeley, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 2 **Libéralisation étendue axée sur les aspects fondamentaux : un cadre pour la politique commerciale canadienne**, Randy Wigle, Université Wilfrid Laurier, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 3 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les 25 dernières années et les 25 prochaines années**, Gary C. Hufbauer et Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 4 **Les tendances démographiques au Canada, 1996-2006 : les répercussions sur les secteurs public et privé**, David K. Foot, Richard A. Loreto et Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 5 **Investissement : les défis à relever au Canada**, Ronald P.M. Giammarino, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 6 **Visualiser le 21e siècle – Investissements en infrastructure pour la croissance économique, le bien-être et le mieux-être des Canadiens**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, et Stéphanie Barker, Université de Montréal, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Les conséquences du changement technologique pour les politiques de main-d'œuvre**, Julian R. Betts, Université de la Californie à San Diego, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 8 **L'économie et l'environnement : l'expérience récente du Canada et les perspectives d'avenir**, Brian R. Copeland, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 9 **Réactions individuelles à l'évolution du marché du travail au Canada**, Paul Beaudry et David A. Green, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 10 **La réaction des entreprises – L'innovation à l'ère de l'information**, Randall Morck, Université de l'Alberta, et Bernard Yeung, Université du Michigan, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 11 **Institutions et croissance – Les politiques-cadres en tant qu'instrument de compétitivité**, Ronald J. Daniels, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

COLLECTION PERSPECTIVES SUR LE LIBRE-ÉCHANGE NORD-AMÉRICAIN

N° 1 **La fabrication dans les pays de petite taille peut-elle survivre à la libéralisation du commerce? L'expérience de l'Accord de libre-échange Canada-États-Unis**, Keith Head et John Ries, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 2 **Modélisation des liens entre le commerce et l'investissement étranger direct au Canada**, Walid Hejazi et A. Edward Safarian, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 3 **Libéralisation des échanges et migration de travailleurs qualifiés**, Steven Globerman, Université Western Washington et Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 4 **Évolution du profil sectoriel et professionnel du commerce international du Canada**, Peter Dungan et Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 5 **Incidence de l'Accord de libre-échange entre le Canada et les États-Unis sur le commerce interprovincial**, John F. Helliwell, Université de la Colombie-Britannique, Frank C. Lee, Industrie Canada, et Hans Messinger, Statistique Canada, 1999.

N° 6 **L'essentiel sur l'accord de libre-échange Canada-États-Unis**, Daniel Trefler, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

PUBLICATIONS CONJOINTES

Capital Budgeting in the Public Sector, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

Infrastructure and Competitiveness, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada, en collaboration avec l'Institut C.D. Howe, sous la direction de Jamie Benidickson, G. Bruce Doern et Nancy Olewiler, 1994.

Pour obtenir des exemplaires de l'un des documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche d'Industrie Canada, veuillez communiquer avec le :

Responsable des publications
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 952-5704
Téléc. : (613) 991-1261
Courriel : mepa.apme@ic.gc.ca